



**CARACTÉRISATION, FACTEURS DE CONTRÔLE ET MÉTALLOGÉNIE DU DÉPÔT AURIFÈRE
ATYPIQUE VEZZA, ZONE DE DÉFORMATION DE DOUAY, MATAGAMI, QUÉBEC**

**Par
Maxime Bouchard**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE**

Québec, Canada

2017

RÉSUMÉ

Le but de ce projet, financé conjointement par NAP (North American Palladium Ltd.) et le LAMEQ (laboratoire de métallogénie expérimentale et quantitative), est de comprendre les processus à l'origine de la minéralisation aurifère du gisement Vezza. Pour ce faire, une combinaison d'études sur les carottes de forages (description et échantillonnage), dans les exploitations minières souterraines (cartographies des galeries et mesures structurales), sur le terrain (mesures structurales) et en laboratoires (microscopie, analyses de roches totales, analyses LA-ICP-MS sur les oxydes et sulfures et analyses des inclusions fluides) a été réalisée.

Le gisement Vezza est situé à 27 km au sud-ouest de la ville de Matagami, en territoire Jamésien. Il est encaissé le long d'un contact entre des roches sédimentaires et des roches volcaniques du Groupe du Taïbi, dans la partie centrale de la ceinture d'Harricana-Turgeon et à l'intérieur de la zone de déformation de Douay. Les roches sédimentaires sont composées de grauweekes, d'argilites, de silstones et de formations de fer de type Algoma. Les roches sédimentaires détritiques sont localement granoclassées indiquant une polarité vers le nord. Les formations de fer se retrouvent sous la forme de lits d'oxydes de fer, de jaspes et de cherts. Les roches volcaniques sont de composition basaltique, d'affinité tholéiitique, avec une signature géochimique de type N-MORB. Des intrusions porphyriques à quartz et feldspath, de composition felsique à intermédiaire et d'affinité calco-alcaline, sont aussi retrouvées exclusivement dans la partie volcanique.

Les roches encaissant le dépôt sont imprégnées d'une forte schistosité principale (S_p) pénétrante E-W à pendage fort vers le sud et d'une linéation d'étirement (L_e) subverticale compatibles avec l'épisode de raccourcissement D1. Les roches montrent aussi un clivage de crénulation (S_{p+1}) recoupant la schistosité principale, en relation avec du coulissage dextre le long de la faille Vezza et compatible avec l'événement de coulissage dextre D2. Les relations entre les minéraux d'altération et la schistosité observées en lames minces suggèrent que la minéralisation est synchrone à la déformation. L'anisotropie verticale de la linéation d'étirement est accentuée par son parallélisme avec la linéation d'intersection entre S_p et S_{p+1} .

Les altérations qui caractérisent le dépôt et le système hydrothermal sont la carbonatation, la silicification, la séricitisation, la chloritisation, la fuchsitisation, l'épidotisation et la présence locale de tourmaline. Ces minéraux d'altération se retrouvent dans l'enveloppe minéralisée, où leur proportion atteint son apogée et celle-ci décroît progressivement en périphérie de la zone minéralisée formant ainsi un large halo. Une zonalité de la composition des carbonates, où les carbonates de fer sont proximaux à la minéralisation, est bien développée.

La minéralisation aurifère représente une zone de forte carbonatation et silicification d'aspect invasif au sein d'un grauweeke localement interdigité avec des argilites et des reliquats de formations de fer, le long du contact avec les roches volcaniques. Le corps minéralisé s'étend latéralement sur plus de 450 m par 750 m de profondeur avec une épaisseur variant de 1 à 10 m. Des disséminations de pyrite, arsénopyrite et en moindre proportion de pyrrhotite définissent le minerai. Les vecteurs minéralisés (zones de plus forte teneur et de plus large épaisseur) sont formés en lien avec des zones de virgation compatibles avec un mouvement dextre (D2) lors de la minéralisation. L'or et l'argent sont les deux seuls métaux retrouvés en proportion économique et les analyses de la minéralisation révèlent un rapport Au/Ag de 4,4. Les bilans de masses réalisés sur les grauweekes indiquent un apport considérable en carbonates, couplé à un enrichissement en silice, fer, sodium, et une signature métallique en As-Mo-W-Cu. L'étude des oxydes et sulfures au LA-ICP-MS révèle une signature métallique en Ag-As-W-Mo-Cu-Pb-Sb-Bi associée à la minéralisation. La majeure partie de l'or est finement disséminée dans les pyrites-arsénopyrites et les proportions

d'or libre sont minimales. Les bordures des grains de pyrites sont dépourvues d'or et du cortège métallique, ce qui souligne une évolution du système hydrothermal. Les analyses effectuées sur les inclusions fluides indiquent un fluide composé majoritairement de CO₂, CH₄, N₂, C₂H₆ et H₂ avec peu d'eau. Les inclusions fluides sont monophasées, ce qui suggère que l'ébullition (séparation de phases) n'est pas le mécanisme prépondérant pour précipiter l'or.

Les diverses données acquises au cours de cette étude permettent de proposer un modèle de formation dans lequel le contact entre les roches sédimentaires et les roches volcaniques est une faille inverse dans le nez d'un pli régional synclinal déversé, expliquant ainsi la polarité inversée des sédiments et l'absence de dykes dans ces derniers. La déformation principale (D1) engendre l'étirement vertical à l'origine de la plomberie du système hydrothermal. Le coulissage dextre de la seconde déformation (D2) permet de former des dilatations le long de la structure chevauchante ce qui permet l'écoulement de fluides hydrothermaux pressurisés. Les formations de fer le long de la structure chevauchante déstabilisent les fluides hydrothermaux ce qui a induit la précipitation l'or au fur et à mesure que les oxydes sont transformés en sulfures.

La zone aurifère, qui est essentiellement le résultat d'une imprégnation hydrothermale invasive, se forme donc en réponse à un coulissage dextre le long d'une structure inverse préexistante, offrant des possibilités de précipitation de l'or par remplacement des oxydes de fer. Ces particularités expliquent pourquoi la minéralisation à Vezza correspond à une zone de remplacement hydrothermale plutôt qu'à une simple veine de quartz aurifère classique.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xx
REMERCIEMENTS.....	xxi
STRUCTURE DU MÉMOIRE	xxii
CHAPITRE 1	1
Introduction	1
1.1 Problématique générale.....	1
1.2 Problématique spécifique	4
1.3 Objectif.....	5
1.4 Méthodologie.....	5
1.4.1 Définir les encaissants de la minéralisation	6
1.4.2 Établir la chronologie entre déformation et minéralisation	6
1.4.3 Déterminer l'assemblage minéralogique d'altération et de la minéralisation	6
1.4.4 Déterminer la distribution de la minéralisation et de l'altération.....	7
1.4.5 Établir des critères d'exploration à l'échelle locale et régionale	8
1.5 Historique du projet.....	8
1.6 Contexte géologique	9
1.7 Géologie régionale	10
CHAPITRE 2	17
Géologie locale	17
2.1 Introduction	17

2.2 Carte géologique détaillée	17
2.3 Description des lithologies	19
2.3.1 Les roches sédimentaires	19
2.3.1.1 Les grauwackes	19
2.3.1.2 Les argilites.....	21
2.3.1.3 Les formations de fer	21
2.3.2 Les basaltes	23
2.3.3 Les intrusions felsiques	25
2.3.4 Argilites graphiteuses.....	25
2.4 Géochimie des lithologies	26
CHAPITRE 3	49
Structure et déformation.....	49
3.1 Introduction	49
3.2 La schistosité principale (S_p).....	49
3.3 Clivage de crénulation (S_{p+1})	50
3.4 La linéation d'étirement (L_e).....	50
3.5 Indicateurs de cisaillement	50
3.6) Linéation d'intersection (L_{int})	51
CHAPITRE 4	63
Altération hydrothermale.....	63
4.1 Introduction	63
4.2 Bilan de masse.....	63
4.3 Minéralogie des altérations hydrothermales.....	64
4.3.1 Silicification	65
4.3.2 Carbonatation	66
4.3.3 Séricitisation.....	67
4.3.4 Sulfurisation	68
4.3.5 Albitisation	69
4.3.6 Chloritisation	69

4.3.7 Tourmalinisation	70
4.3.8 Fuchsitisation	70
4.3.9 Épidotisation	71
4.3.10 Hématisation	71
4.3.11 Formation des leucoxènes	71
4.4 Chronologie relative des altérations hydrothermales	72
4.5 Distribution des altérations hydrothermales	73
4.5.1 Séricitisation	74
4.5.2 Carbonatation	74
4.5.3 Silicification	75
4.5.4 Fuchsitisation	76
4.6 Synthèse	76
CHAPITRE 5	98
Minéralisation	98
5.1 Introduction	98
5.2 Description du minerai	98
5.2.1 Morphologie du dépôt	98
5.2.2 Minéralogie du minerai	99
5.2.3 Distribution des valeurs aurifères	103
5.3 Cartographies souterraines	103
5.4 Typologie des sulfures	107
5.5 Chimie des sulfures	108
5.3.1 Pyrite	108
5.3.1.1 Triage selon les teneurs en or	109
5.3.1.2 Triage selon la granulométrie	109
5.3.1.3 Triage selon le degré de cristallinité	110
5.3.1.4 Triage selon la porosité	110
5.3.1.5 Constat sur la chimie des pyrites	111
5.3.2 Pyrrhotine	111
5.3.3 Arsénopyrite	111

5.3.4 Oxydes de fer	112
5.3.5 Pyrite à l'extérieur de la zone minéralisée.....	112
5.3.6 Distribution physique de l'or dans les pyrites.....	113
5.4. Inclusions fluides.....	115
5.4.1 Pétrologie des inclusions fluides.....	115
5.4.2 Composition en volatiles des inclusions fluides.....	115
5.5 Synthèse.....	116
CHAPITRE 6	146
Synthèse et conclusions.....	146
6.1. Introduction	146
6.2. Synthèse des caractéristiques - chapitre 2	146
6.3. Synthèse des caractéristiques - chapitre 3	147
6.4. Synthèse des caractéristiques - chapitre 4	147
6.5. Synthèse des caractéristiques - chapitre 5	148
6.6 Discussion.....	150
6.6.1 Style de minéralisation et implication génétique	150
6.6.2 Signature métallique du minerai et implications.....	152
6.6.3 Précipitation de l'or.....	153
6.6.4 Source de l'or et des fluides	154
6.7 Conclusion : Modèle de formation	155
LISTE DE RÉFÉRENCES	163
ANNEXE A - Description et localisation des échantillons	169
ANNEXE B - Géochimie roche totale.....	173
ANNEXE C - Échantillons LA-ICP-MS.....	183
ANNEXE D - Analyses LA-ICP-MS	189

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques principales des gisements sélectionnés et encaissés le long de failles majeures.	13
Tableau 2 : Tableau listant les objectifs initiaux du projet, les méthodologies requises, les appareillages et mesures/analyses estimés comme nécessaires à la réalisation de l'étude.	14
Tableau 3 : Moyenne et écart-type des quatre échantillons de grauwackes stériles ayant été utilisés dans le bilan de masse.....	79
Tableau 4 : Valeur en ppm et ratio Au/Ag des analyses roches entières provenant de la zone minéralisée. ..	81

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Environnement de formation des divers types de dépôts aurifères hydrothermaux, tirée de Groves et al. (1998).	12
Figure 2 : Localisation du projet Vezza, tirée de Salmon et Pelz (2010).	15
Figure 3 : Géologie régionale du secteur de la mine Vezza, de Salmon et Pelz 2010.	16
Figure 4 : Géologie régionale de la mine Vezza, modifiée des travaux d'Agnico-Eagle.....	28
Figure 5: Géologie locale de la mine Vezza, modifiée des travaux d'Agnico-Eagle.	29
Figure 6 : Aperçu 3D montrant la distribution spatiale des forages utilisés pour la cartographie des lithologies et de la zone minéralisée de la figure 8 (A et B). Les figures C et D sont des exemples de sections qui ont été créées aux 20 m et ensuite cartographiées et représentent les sections 16440 et 16560 respectivement.	30
Figure 7 : Cartographie de détail au niveau du socle rocheux réalisée à partir des forages.	31
Figure 8 : Photographies macroscopiques en carottes de forages. A) Argilite recoupée par des veinules de quartz/carbonates comme retrouvées dans la plupart des cas dans les environs de la mine; B) Alternance d'horizons d'argiles chloritisées et de greywackes séricitisés; C) Greywacke avec grains de plagioclase fortement allongés, forage V-10-192; D) Greywacke recoupé par une veinules de quartz montrant une zonalité de l'intensité de l'altération et son l'influence sur la couleur de la roche.....	32
Figure 9 : Photographies microscopiques. A) Plagioclases argilitisés et séricitisés en lumière naturelle transmise; B) Plagioclase séricitisé, lumière polarisée; C) Allure typique des greywackes montrant des grains de quartz et plagioclases arrondis et allongés dans une fine matrice composée de séricite et de minéraux des argiles, lumière polarisée; D) Quartz détritique et plagioclase en lumière naturelle.....	33
Figure 10 : Photographies microscopiques. A) Photographie en lumière polarisée d'une hornblende brune avec allongement minéralogique perpendiculaire à la schistosité; B) Photographie montrant une section de lame mince riche en hornblende brune; C) Amphibole idiomorphe avec clivage à 56°; D) Amphibole idiomorphe qui croît sur de la chlorite.....	34

Figure 11 : Exemple d'intervalle de roches sédimentaires montrant des passages de granulométrie décroissante passant de conglomérat à grauwaque, indiquant que la polarité est vers le nord, forage V-11-245A.	35
Figure 12 : Photographies microscopiques. A et B) Photographies en lumière naturelle (A) et polarisée (B) montrant du litage et un changement distinct de granulométrie ; C et D) Photographies en lumière naturelle (C) et polarisée (D) montrant la minéralogie (pistachiste+quartz) de certaines sections des argilites; E et F) Photographies en lumière naturelle (E) et polarisée (F) d'une alternance de grauwaque et d'argilite recoupée par des veinules de quartz.	36
Figure 13 : A) Formation de fer montrant des laminations de magnétite massive et de jaspe, forage V-10-192 ; B) Formation de fer cisailée composée de chert, jaspe et magnétite et faiblement altérée en sulfures, forage V-10-212.....	37
Figure 14 : Photographies microscopiques. A) Photographie en lumière réfléchie d'une formation de fer avec alternance de chert et de magnétite ; B) Photographie en lumière transmise d'un lit de jaspe montrant des cristaux prismatiques de magnétique dans une matrice de quartz ; C : Photographie en lumière réfléchie d'un horizon d'oxyde de fer composé de magnétite et d'hématite ; D) Photographie en lumière transmise d'un horizon de chert composé de quartz et de carbonates.	38
Figure 15 : A) Photographie montrant l'allure des typiques des roches volcaniques aphanitiques en carottes de forages ; B) Roche volcanique coussinée montrant de bordures de trempes chloritisées ; C) Photographies des roches mafiques coussinées, galerie d'accès niveau 650 ; D) Basaltes amygdalaires en patine d'altération de surface le long de la rivière Allard.	39
Figure 16 : Photographies microscopiques. A) Photographie en lumière transmise naturelle montrant la minéralogie d'un basalte à grains fins; B) Photographie en lumière transmise polarisée d'un basalte à grains fins; C) Amygdule de quartz montrant une texture de recristallisation avec bordures à jonction triple à 120°; D) Photographie en lumière transmise naturelle avec une texture gabbroïque exprimée par des phénocristaux de plagioclases altérés (Brun) et des porphyroblastes de chlorite et d'amphibole (minéraux pâles).....	40

Figure 17 : Photographies des basaltes. A) Basaltes coussinés au plafond d’une galerie du niveau 650 montrant des formes en molaires permettant de déterminer le regard structural des laves vers l’Est ; B) Basalte à texture gabbroïque ; C et D) Basalte à texture porphyrique.....	41
Figure 18 : Photographies microscopiques en lumière transmise naturelle (A et C) et polarisée (B et D) d’un basalte à texture gabbroïque montrant des porphyroblastes d’amphiboles.	42
Figure 19 : Photographies microscopiques en lumière transmise naturelle (A et C) et polarisée (B et D) montrant des exemples de basaltes à phénocristaux de plagioclase, porphyroblaste d’amphibole et matrice microporphyrique.	43
Figure 20: A) Photographie d’un dyke felsique recoupant des basaltes coussinés dans une galerie souterraine ; B) Photographie d’une carotte de forage montrant le contact net d’un dyke felsique avec les laves ; C et D) Photographie microscopique en lumière transmise naturelle (C) et polarisée (D) d’une intrusion felsique montrant les phénocristaux de quartz et de feldspath.	44
Figure 21 : Photographies microscopiques. A) Photographie en lumière réfléchie de pyrites nodulaires encaissées dans un horizon graphiteux entre des laves au niveau 650 des excavations souterraines ; B) Photographie d’un échantillon provenant de l’horizon d’argilite graphiteuse cartographié à la figure 8.	45
Figure 22 : A) Diagramme des éléments du groupe des terres rares normalisés sur le “Pacific Archean Australian Shale” (PAAS) des roches sédimentaires ; B) Diagramme des éléments du groupe des terres rares normalisés sur la chondrite C1 (Palme et O’Neil 2004) des roches sédimentaires; C) Diagramme des éléments du groupe des terres rares normalisés sur le manteau primitif (McDonough et Sun, 1995) des roches sédimentaires.....	46
Figure 23 : A) Diagramme multiéléments des échantillons de laves mafiques (en noir) et de l’intrusion felsique (en jaune) normalisés sur le manteau primitif de McDonough et Sun (1995); B) Diagramme des éléments de groupe des terres rares normalisés sur la chondrite C1 (Palme et O’Neil 2004) des échantillons de laves mafiques (en noir) et de l’intrusion felsique (en jaune).....	47

Figure 24 : A et B) Classification des roches volcaniques mafiques et de l'intrusion felsique selon les diagrammes de Winchester et Floyd (1977); C) Classification des roches volcaniques mafiques et de l'intrusion felsique selon le diagramme de Pearce, 1996 ; Classification l'affinité magmatique selon Ross et Bédard (2009) des roches volcaniques mafiques et de l'intrusion felsique.....	48
Figure 25 : Localisation des affleurements le long de la rivière Allard.	53
Figure 26 : Schistosité principale et litage primaire en lames minces, sous terre et en carottes de forages. ...	54
Figure 27 : Stéréonet de Wulf montrant la distribution des mesures prises en surface et sous terre de la schistosité principale et du litage primaire des roches sédimentaires.	55
Figure 28 : Clivage de crénulation S_{p+1} en lames minces (A-B) et en affleurement de surface (C).....	56
Figure 29 : Mesures du clivage de crénulation S_{p+1} prises sur quatre niveaux différents des exploitations souterraines.	57
Figure 30 : Mesures du clivage de crénulation S_{p+1} prises en affleurements de surface.	58
Figure 31 : Linéation d'étirement à forte plongée sur les plans de schistosité dans les roches sédimentaires et dans les amygdules des basaltes.	59
Figure 32 : Stéréonet de Wulf montrant la distribution des mesures de linéations d'étirement souterraine et en surface.	60
Figure 33 : Carte schématique en plan de la relation géométrique entre S_p , S_{p+1} et la faille de Vezza.	61
Figure 34 : Colinéarité entre les linéations d'étirement et d'intersection. A) Stéréonet de Wulf montrant le plan moyen des mesures de schistosité principale (S_p), du clivage de crénulation (S_{p+1}) en surface et sous terre ainsi que le total des mesures de linéations d'étirement (L_e) ; B) Stéréonet de Wulf montrant le total des mesures de la schistosité principale (S_p), du clivage de crénulation (S_{p+1}) et de la linéation d'étirement (L_e).	62
Figure 35 : Bilan de masse de quatre (4) grauwackes distaux sans valeur aurifère et de quatre (4) grauwackes provenant de la zone contact ayant des valeurs en or. La ligne bleue est tracée à partir des éléments immobiles (Zr et TiO_2) alors que la ligne rouge représente une pente de 1.	80

Figure 36 : A) Forage V-10-212 à 110,5m et B) forage V-10-209 à 115m montrant des alternances de grauwackes et d'argilites minéralisées avec une silicification sous forme de veinules parallèles à la schistosité ainsi qu'une silicification sous forme pénétrante des grauwackes C) Horizons de jaspe et de chert recoupés par des veinules de quartz d'aspect bréchique ; D) Veinule de quartz et carbonates plissée qui recoupe orthogonalement la schistosité et le litage d'une alternance de grauwackes et d'argilite.	82
Figure 37 : A) Veinules de quartz-carbonates parallèles à la schistosité dans une argilites graphiteuses, échantillon V-12-139; B) Chert et jaspe provenant de la zone aurifère contact et recoupés par une brèche de carbonates, échantillon V-12-31; C) Veinule plissée orthogonale à la schistosité, échantillon V-12-56; D) Silicification pénétrante et veinules dans un grauwacke, échantillon V-12-08.	83
Figure 38 : Photographies microscopiques montrant différents niveaux d'intensité de séricitisation (A, B et C), de silicification (D, E et F) et de carbonatation (G, H et I).	84
Figure 39 : Exemple de la zonalité de l'altération en carbonates. Forage V-200-06. Le côté droit de la figure montre avec une ligne la lithologie rencontrée où une ligne verte représente les roches volcaniques et une ligne bleue représente les roches sédimentaires. Le côté gauche de la figure montre la zonalité des carbonates où TRS = transition; CB-Fe = carbonates de fer; et Mx = minéralisation).....	85
Figure 40 : Exemple de la zonalité de l'altération en carbonates. Forage V-550-021. Le côté droit de la figure montre avec une ligne la lithologie rencontrée où une ligne verte représente les roches volcaniques et une ligne bleue représente les roches sédimentaires. Le côté gauche de la figure montre la zonalité des carbonates où CB-Fe = carbonates de fer ; et Mx = minéralisation).	86
Figure 41 : A-B) Sulfurisation partielle d'un horizon d'oxyde de fer recoupé par une veinule de quartz en lames minces (échantillon V-11-13) ; C) Sulfurisation partielle des oxydes de fer en carottes de forages (forage V-10-187 à 213.3m) : D) Sulfurisation complète des oxydes d'une formation de fer en carottes de forages (forage d'exploration réalisé en 2012).	87
Figure 42 : A) Veinules avec encroûtement d'albite aux épontes, échantillon V-11-07; B) Albite disséminée dans un grauwacke altéré, échantillon V-12-106.	88

Figure 43 : A) Exemple de chloritisation en forage dans des basaltes, forage V-10-186 ; B) Exemple de chloritisation en forage dans des argilites graphiteuses, forage V-10-217 à 97,0 m ; C) Chlorite verte en lame mince dans des basaltes, échantillon V-11-01 ; D) Chlorite noire en lame mince provenant d'une argilites graphiteuses, échantillon V-12-40.....	89
Figure 44 : Veinules de quartz en association avec des rosettes de tourmaline dans un grauwaacke fortement altéré et minéralisé, forage V-10-217 à 102,5 m.	90
Figure 45 : Exemple de carottes de forages montrant un grauwaacke constitué de clastes de quartz arrondis avec de forte proportion de leucoxènes, forage V-10-209 à 110,5m.	91
Figure 46 : Sections avec vue vers l'ouest montrant les teneurs aurifères (bleu=0,1-0,5ppm Au ; vert 0,5-1,0ppm Au ; jaune=1,0-2,5ppm Au ; orange=2,5-5,0ppm Au ; rouge >5,0ppm Au), et les lithologies principales dans ces mêmes sections sous-jacentes (en vert les roches volcaniques mafiques, en jaune les intrusions felsiques, en bleu pâle les grauwaackes, en bleu foncé les argilites et en rose les formations de fer et les cherts). La zone en vert pâle représente les basaltes. Source des données : NAP Québec 92	
Figure 47 : Trois différentes sections avec vue vers l'ouest montrant la distribution de l'altération en séricite en fonction de son niveau d'intensité (En gris pâle les roches faiblement séricitisées; en gris moyen les roches modérément séricitisées; en gris foncé les roches fortement séricitisées ; et en rouge l'enveloppe de la zone aurifère).	93
Figure 48 : Trois différentes sections avec vue vers l'ouest montrant la distribution de la carbonatation en fonction de son niveau d'intensité (En mauve pâle les roches faiblement carbonatées; en mauve moyen les roches modérément carbonatées; en mauve foncé les roches fortement carbonatées ; et en rouge l'enveloppe de la zone aurifère).....	94
Figure 49 : Trois différentes sections avec vue vers l'ouest montrant la distribution de la silicification en fonction de son niveau d'intensité. (En bleu pâle les roches faiblement silicifiées; en bleu moyen les roches modérément silicifiées; en bleu foncé les roches fortement silicifiées ; et en rouge l'enveloppe de la zone aurifère.....	95

Figure 50 : Deux différentes sections avec vue vers l'ouest montrant la distribution de la fuchsitisation en fonction de son niveau d'intensité. (En vert pâle les roches faiblement fuchsitisées; en vert moyen les roches modérément fuchsitisées; en vert foncé les roches fortement fuchsitisées et en rouge l'enveloppe de la zone aurifère).....	96
Figure 51 : Synthèse de la zonalité des minéraux d'altérations où la hauteur des bandes noires représente l'intensité de l'altération. Notez que l'échelle est brisée afin de pouvoir représenter avec le plus de détails et sur le même diagramme l'altération pour les roches volcaniques et les roches sédimentaires. Cette figure est basée sur les observations de l'auteur réalisées à partir des carottes de forages et des excavations souterraines.....	97
Figure 52 : Section longitudinale simplifiée du dépôt Vezza montrant en lignes pointillées noires les trois sections considérées lors de cette étude. La distribution des teneurs Au est représentée par les couleurs rouge (plus de 5ppm), jaune (de 1 à 5ppm exclusivement) et bleu (moins de 1ppm). Les lignes en blanc illustrent la trace des niveaux d'excavations souterraines.	119
Figure 53 : Photographies de la minéralisation. A). Aspect général de la séquence typique minéralisée avec grauwacke d'aspect massif en contact le cisaillement graphiteux lui-même en contact avec les basaltes, galerie à minerai niveau 300; B et C) Exemple de grauwackes d'aspect massif en lames minces, lumière transmise polarisée, échantillon V-12-106 et V-11-07; D) Exemple d'un grauwacke d'aspect massif en lumière réfléchiée, échantillon V-11-07.....	120
Figure 54 : Photographies macroscopiques de la minéralisation avec un aspect rubané prise dans une galerie à minerai, niveau 200 (A et B). Photographie de veines de quartz-carbonates-chlorite-tourmaline plissées au sein d'un cisaillement graphiteux en contact avec la zone minéralisée d'une galerie à minerai, niveau 300 (C). Photographie d'une galerie à minerai montrant des lambeaux de grauwacke silicifié et carbonaté dans le cisaillement graphiteux, sous-niveau 150 (D).....	121
Figure 55 : Cisaillement graphiteux en lumière transmise au microscope montrant le style de distribution en filonnets (matériel noirâtre) (A, échantillon V-12-136) ou pénétrante (B, échantillon V-12-57) du graphite. Roche sédimentaire cherteuse recoupée par des veinules de carbonates-quartz-pyrite formant	

une brèche (C, échantillon V-11-31). Pyrite à texture poecilitique avec inclusions de magnétite (D, échantillon V-11-31).	122
Figure 56 : Photographies au microscope en lumière naturelle (A) et polarisée (B), d'amphiboles porphyroblastiques dans un graywacke minéralisé, échantillon V-12-162.	123
Figure 57 : Section longitudinale simplifiée montrant les axes d'allongement de la minéralisation parallèles aux linéations d'étirement mesurées dans les excavations souterraines et à la linéation d'intersection entre S_p et S_{p+1} . La distribution des teneurs Au est représentée par les couleurs rouge (plus de 5ppm), jaune (de 1 à 5ppm exclusivement) et bleu (moins de 1ppm).	124
Figure 58 : Vue en plan des différents niveaux de la mine et des galeries minéralisées cartographiées.....	125
Figure 59 : Cartographie et facteur métal du niveau 200.	126
Figure 60 : Cartographie et facteur métal du niveau 300.	126
Figure 61 : Cartographie et facteur métal du niveau 450.	127
Figure 62 : Photographies microscopiques de différents échantillons minéralisés montrant la pyrite contenue dans le minerai. A) Minerai fortement silicifié et carbonaté avec pyrite concentrée en fins horizons, échantillon V-11-07); B) Chert minéralisé avec pyrite disséminée, échantillon V-12-53; C) Minerai avec alternance d'horizons silicifiés-carbonatés et séricitisés montrant une distribution hétérogène de la pyrite, échantillon V-12-08; D) Argilite graphiteuse avec pyrite distribuée de manière homogène, échantillon V-12-40.	128
Figure 63 : Diagramme multiéléments des pyrites totales provenant de la zone minéralisée (A) et des pyrites triées selon les proportions d'or (B et C). La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.	129
Figure 64 : Diagramme multiéléments des pyrites provenant de la zone minéralisée triées par granulométrie. La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.	130
Figure 65 : Diagramme multiéléments des pyrites provenant de la zone minéralisée triées par degrés de cristallinité. La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.	131

Figure 66 : Diagrammes multiéléments des pyrites provenant de la zone minéralisée triées par proportion de porosité. La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.....	132
Figure 67 : A) Diagrammes multiéléments des pyrrhotines; B) Diagramme multiéléments du total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en rouge) et des pyrrhotines (en vert); C) Diagramme multiéléments total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en rouge) et des arsénopyrites (en noir). La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.	133
Figure 68 : A) Total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en noir) et arsénopyrite avec moins de 1 ppm Au (en vert); B) Total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en noir) et arsénopyrites avec plus de 1 ppm Au (en orangé); C) Hématites (en jaune), magnétite (en bleu) et total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en rouge) La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.	134
Figure 69 : Diagramme multiéléments montrant la signature de trois pyrites distales à la minéralisation prise dans une formation de fer (lignes orange et rouge), dans un grauwaacke (ligne verte) et du total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en noir). La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.	135
Figure 70 : A) Photographie microscopique d'une pyrite nodulaire au sein d'un shale graphiteux dans les basaltes, échantillon V-11-13; B) Diagramme multiéléments montrant la signature des pyrites nodulaires et du total des pyrites provenant de la zone minéralisée où la zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.	136
Figure 71 : Signaux bruts en compte par seconde (CPS) d'une pyrite nodulaire prise dans un horizon graphiteux dans les basaltes distaux à la minéralisation. Notez la distribution en plateau de l'or et les teneurs calculées à partir de ce signal.....	137
Figure 72 : Exemples des signaux bruts LA-ICP-MS en compte par seconde (axe verticale en CPS) en fonction du temps (axe horizontal) montrant différents éléments sur la même pyrite. Les éléments Pb, Ag, Sb, As, Te et W montrent des variations en CPS proportionnelles à Au, indiquant que ces éléments sont génétiquement liés à l'enrichissement en Au.	138

Figure 73 : Exemples des signaux bruts LA-ICP-MS en compte par seconde en fonction du temps montrant des exemples de pyrites où les éléments Pb, As, Sb et Ag montrent des variations proportionnelles avec l'or, indiquant que cette association est commune dans les pyrites.	139
Figure 74 : Diagramme des signaux bruts montrant des exemples de pyrites zonées. Il apparaît clair que l'or (Au) est enrichi dans les cœurs des pyrites en lien avec l'arsenic (As). Le fer (Fe), en plateau, définit les bordures de la pyrite.	140
Figure 75 : Cartographie au LA-ICP-MS d'une pyrite provenant de la zone minéralisée montrant bien la zonalité de l'or au cœur de la pyrite et son lien avec As, Pb, W, Sn, Cu et Bi. Les bordures des pyrites sont enrichies en Ni, Co et Sn mais déficientes en or.	141
Figure 76 : Ratio de la (ou des) zone(s) riche(s) en or sur la (ou les) zone(s) pauvre(s) en or de 22 pyrites montrant une zonalité de la distribution de l'or sur les signaux LA-ICP-MS.	142
Figure 77 : Photographie microscopique montrant les deux types de familles d'inclusions fluides dans les échantillons sélectionnés.	143
Figure 78 : Diagramme binaire montrant les proportions de CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, C ₂ H ₆ , He, Ar et H ₂ analysées en temps réel par spectrométrie de masse à sonde solide lors de l'augmentation progressive de la température (°C) et de la décrépitation des inclusions fluides de trois échantillons minéralisés provenant de la mine Vezza.	144
Figure 79 : Résultat de l'analyse du contenu en volatiles de la mine Beaufor, tirée de Gaboury (2011).	145
Figure 80 : Modèle de formation proposé du dépôt Vezza étape 1, raccourcissement D1 : modèle 3D avec vue en section montrant la genèse du contact entre les roches sédimentaires et les roches volcaniques le long d'une faille inverse dans le nez d'un pli régional synclinal déversé.	158
Figure 81 : Modèle de formation proposé du dépôt Vezza étape 1, raccourcissement D1 (suite) : A) Création de la linéation d'étirement et de la structuration verticale à l'origine de la plomberie du système hydrothermal. B) Distribution des formations de fer le long de la structure chevauchante. C) Formations de fer avec bruit de fond primaire en métaux Ni-Co-V-Cr-Mn-Sn+/-Sb+/-Pb+/-Zn+/-Cu.	159

Figure 82 : Modèle de formation proposé du dépôt Vezza étape 2, formation du clivage de crénulation (S_{p+1}), de la linéation d'intersection (L_{int}) et coulissage dextre (D2) : A) Linéation d'intersection (L_{int}) d'orientation similaire à la linéation d'étirement (L_e) causant l'amplification de l'anisotropie verticale et la perméabilité le long de cet axe. Lors du coulissage dextre, la formation de zones de dilatations le long de la structure chevauchante initiale est contrôlée par les irrégularités géométriques. B) Amorce du système hydrothermal drainé par les zones de dilatations le long de la structure chevauchante durant D2. C) Fluides hydrothermaux riches en soufre et pauvres en métaux transformant les oxydes des formations de fer en pyrrhotite et pyrite tout en conservant leur bruit de fond métallique. 160

Figure 83 : Modèle de formation proposé du dépôt Vezza étape 3, apogée du système hydrothermal : Hydrothermalisme de forte intensité formant la large zone d'altération (A), la zone minéralisée au cœur du système localisée le long du contact entre les roches sédimentaires et volcaniques, (B) et l'enrichissement des pyrites selon la suite de métaux Au-Ag-As-W-Mo-Cu-Pb-Sb-Bi ainsi que la formation des arsénopyrites riches en or avec une signature métallique similaire aux pyrites (C). 161

Figure 84 : Modèle de formation proposé du dépôt Vezza étape 4 : A) Métamorphisme au faciès des schistes verts supérieurs atteignant le niveau de la minéralisation de Vezza. B) Hydrothermalisme tardif n'affectant que partiellement les roches mais causant le lessivage des métaux As-Au-Ag-Mo-Cu-Mn-Te-Pb-Bi-Sb aux bordures des grains de pyrites. 162

LISTE DES ABRÉVIATIONS

g/t : Grammes par tonne
ppm : Partie par million
ppb : Partie par milliard
Oz : Once
Au : Or
Ag : Argent
Ma : Millions d'années
m : Mètre
km : Kilomètre
I1 : Dyke felsique
V3B : Basalte
S6 : Argilite
S3 : Grauwacke
S9 : Formation de fer
S10 : Chert
Ank : Ankérite
Cb : Carbonates
Cc : Calcite
Qtz ou Qz : Quartz
Chl: Chlorite
Épi: Épidote
Amph: Amphibole
Kfsp: Feldspath potassique
Ser: Séricite
Pg: Plagioclase
Py : Pyrite
Asp : Arsénopyrite
Mt : Magnétite
Gp : Graphite
S0 : Litage primaire
S1 ou Sch : Schistosité
Lé : Linéation d'étirement
TRS : Transition
% pds : Pourcentage poids

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est l'aboutissement de plusieurs heures de travail et j'aimerais profiter de ces quelques lignes pour souligner la collaboration et le support de ceux ayant eu un impact sur le projet.

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur Damien Gaboury qui a montré une disponibilité et une confiance à toute épreuve. Merci pour les conseils, suggestions et enseignements judicieux qui m'ont permis de me rendre jusqu'au bout du projet.

La réalisation de celui-ci n'aurait pas été possible sans le soutien financier de N.A.P. et du LAMEQ. Toute ma gratitude à l'équipe des opérations minières de Vezza, particulièrement à Valère Larouche, Antoine Durant, Benoit Beaulieu et Alexandra Fliszar pour votre accueil, les bons moments passés à Matagami, le soutien et l'accessibilité des données. Merci à Donald Trudel qui m'a accueilli au début du projet et qui m'a permis de commencer sur des bases solides. Je dois également remercier les personnes côtoyées durant ces années dont : Alexis Bissonnette, Bastien Fresia, Valérie Doyon, Robert Boucher et Robert Namour.

Finalement, toute ma reconnaissance à ma mère Myriam Tremblay et mon père Dominique Bouchard pour leurs encouragements au quotidien et un merci tout particulièrement à ma conjointe Stéphanie Gaudreault pour sa patience sans borne et ses encouragements.

STRUCTURE DU MÉMOIRE

Ce mémoire commence par une introduction de la problématique, une description des objectifs et des méthodologies utilisées dans le cadre de cette étude, avant de présenter le contexte géologique régional dans lequel se trouve le dépôt Vezza. La géologie locale et la description des diverses unités géologiques sont par la suite présentées au chapitre 2. Le chapitre 3 porte sur la géologie structurale tandis que le chapitre 4 se penche sur la caractérisation des altérations hydrothermales et leur distribution. Le chapitre 5 se concentre sur la caractérisation de la minéralisation, sur sa distribution, sur la chimie des sulfures et oxydes, et des fluides hydrothermaux. Pour finir, le chapitre 6 résume les principales caractéristiques définies au cours des chapitres précédents avant de les cadrer dans un modèle génétique de formation de la minéralisation aurifère.

CHAPITRE 1

Introduction

1.1 Problématique générale

Les gisements aurifères ont fait l'objet de plusieurs études au cours des dernières années et ils continueront d'être l'objet de futures recherches à cause de l'importance économique et académique qu'ils représentent. Les gisements d'or ont été classifiés par différents auteurs, dont : Robert et Poulsen (1997), Groves et al. (1998), Kerrich et al. (2000) et Groves et al. (2003). Il en ressort trois types de sources hydrothermales: 1) celle liée au magmatisme extrusif et au volcanisme, donc aux cellules hydrothermales d'eau de mer et d'eau météorique menant à la formation des sulfures massifs volcanogènes aurifères et des gisements épithermaux; 2) celle liée à la cristallisation et à la libération des fluides magmatiques (porphyre, *Intrusion-related gold system* et skarn); et 3) celle liée aux fluides produits lors de la déformation et du métamorphisme dans les zones profondes d'orogènes. Pour cette dernière source, les gisements reçoivent communément l'appellation de dépôt «orogénique». Ils prennent normalement la forme de filons de quartz-carbonates avec une faible quantité de sulfures. La distribution des gisements orogéniques est en forte association spatiale avec des failles crustales majeures, telle que la faille de Cadillac-Larder Lake (Kerrich et Cassidy, 1994; Robert et Poulsen, 1997; Neumayr et al., 2000) et dans la plupart des cas, ils sont encaissés dans les zones de failles et de cisaillements de deuxième et de troisième ordre (Robert et Poulsen, 1997; Tremblay, 2001; Neumayr et Hagemann, 2002). La majorité des dépôts de ce type se retrouvent dans les terrains avec un métamorphisme au faciès des schistes verts (Phillips et Powell, 2009). Les lentilles minéralisées sont reconnues pour avoir des continuités latérales et verticales avec une altération des roches encaissantes essentiellement en $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{K} + \text{S} + \text{SiO}_2$ (Groves et al., 1998). Les seuls métaux économiques sont l'or et l'argent où le ratio Au sur Ag est généralement de 5 ou plus avec une signature métallique de faible intensité en B, Bi, Hg, Cu, Pb, Mo, Sb, Te, W (Groves et al. 2003).

Le modèle génétique le plus cité par la communauté scientifique depuis maintenant presque une vingtaine d'années est celui de Groves et al. (1998). Nommé «modèle du continuum», il implique

que les gisements aurifères des zones de déformation soient formés par des fluides hydrothermaux de source métamorphique canalisés par les failles majeures. Ces fluides sont générés par l'enfouissement de sédiments gorgés d'eau et de roches volcaniques hydratées subissant le métamorphisme prograde régional causant leur déshydratation. Ces fluides, lors de leur ascension, lessivent les roches et permettent le transport de certains éléments, avec des épisodes permettant le transport de l'or. Ainsi, les gisements orogéniques sont synchrones à tardifs au métamorphisme régional et à l'empreinte de la déformation. Les facteurs physiques contrôlant leur formation sont premièrement un niveau structural, lié à la création de failles, des zones de cisaillement et de plis, qui constituent des canalisations permettant la circulation de fluides hydrothermaux. Il est possible que les failles, en plus de permettre la circulation des fluides, aient joué un rôle de pompe lors d'activités sismiques (Gaboury et Daigneault, 2000; Liu et al., 2001; Tremblay, 2001).

Toujours selon Groves et al. (1998), ces fluides forment, tout au long de leur cheminement vers la surface, des gisements avec différents cortèges métalliques en fonction de leur profondeur de mise en place (figure 1). D'autre part, Phillips et Powell (2009) ont récemment contraint le modèle du continuum en démontrant que les fluides formés par les réactions métamorphiques de haute température vont plutôt être utilisés dans le processus de fusion partielle des roches en servant de catalyseur. Ainsi, la production des fluides métamorphiques est alors restreinte à la transition entre le faciès des schistes verts et le faciès des amphibolites, essentiellement par la destruction de la chlorite pour former des amphiboles (Phillips et Powell, 2010), libérant ainsi de l'eau. De plus, Tomkins (2010) a fait la démonstration thermodynamique qu'une pélite riche en pyrite peut être la source de l'or, du soufre et du CO₂ lors de la transition du faciès des schistes verts vers le faciès amphibolite.

La précipitation de l'or peut être contrôlée par des processus physiques comme la séparation de phase vapeur, l'abaissement de la température et l'abaissement de la pression lors de la remontée crustale des fluides (Mikucki, 1998). Cependant, le mécanisme de précipitation de l'or le plus souvent mis à contribution est celui de l'interaction fluides – roches (Mikucki, 1998; Roy, 2000; Olivo et Williams-Jones, 2002) qui relève d'un contrôle d'ordre chimique. L'interaction entre la roche et les fluides

hydrothermaux, qui possèdent des pH et des conditions oxydoréductrices différentes, peut causer la déstabilisation des ligands transportant l'or dans les fluides. De nombreuses études sur les inclusions fluides ont documenté que la température des fluides est sous la barre des 450°C. Ces fluides ont une composition riche en eau et CO₂ et peuvent aussi contenir du méthane, de l'azote, de l'acide sulfurique et une salinité entre 3 et 12 % pds NaCl équivalent (Hagemann et Brown, 1996; Mikucki, 1998; Roy, 2000; Olivo et Williams-Jones, 2002; Pirano, 2009; Phillips et Powell, 2010; Gaboury, 2011; Gaboury, 2013). Selon les mêmes auteurs, le transport de l'or se fait sous forme de complexes hydrosulfurés ($\text{Au} + \text{H}_2\text{S} + \text{HS}^- = \text{AuHS}_2^- + \frac{1}{2} \text{H}_2$) et non chlorurés. La présence de CO₂ dans les fluides est aussi un élément important pour le transport et la précipitation de l'or (Phillips et Powell, 2010; Gaboury, 2011; Gaboury, 2013). Le CO₂ tamponne le pH près de la neutralité, où l'or atteint un niveau de solubilité optimale sous la forme de complexe HSAu (William-Jones et al., 2009). La solubilité de l'or tend aussi vers un maximum avec des conditions d'oxydoréduction à la transition entre réducteur et oxydant (William-Jones et al., 2009). Ceci se manifeste concrètement par l'association spatiale entre minéralisations aurifères orogéniques et roches encaissantes riches en oxydes de fer (Roy, 2000; Ispolatov et al., 2008; Pirano, 2009). La rencontre entre des fluides transportant de l'or et un oxyde de fer peut ainsi déstabiliser les complexes HSAu, précipitant l'or ($\text{AuHS}_2^- + \text{FeO} = \text{Au} + \text{FeS}_2$).

Par ailleurs, certains gîtes localisés dans les zones de cisaillement interprétés comme orogéniques montrent certaines caractéristiques atypiques par rapport au modèle filonien classique. Par exemple, les gisements de Casa Berardi, de Wona et de Lapa sont encaissés le long d'un contact lithologique ayant servi de corridor de cisaillement important lors de la déformation et sont interprétés comme orogéniques. Le style de minéralisation à Casa Berardi est classique avec des veines de quartz-carbonates (Pilote et al., 1990). Par contre, le gisement Wona a un style particulier et est décrit par Augustin (2011) et Augustin et al. (2016) comme un corps siliceux qui imprègne les unités encaissantes. A Lapa, Simard (2011) et Simard et al., (2013), décrivent la minéralisation comme étant composée principalement d'arsénopyrite et pyrrhotite ± pyrite disséminées dans des roches encaissantes altérées, et en moindre proportion, sous forme d'or visible dans les veinules de quartz. Ces trois

gisements, malgré leurs caractères pseudo stratiformes pouvant s'apparenter aux systèmes volcanogènes, ont été interprétés comme étant d'origine orogénique et synchrones à tardifs par rapport à la déformation ductile régionale. Il faut toutefois garder en mémoire la possibilité de formation de minéralisation aurifère pré-tectonique. Un exemple est le gisement aurifère Eagle-Telbel, du camp minier de Joutel. Ce gisement, situé dans la zone de faille d'Haricana, a été interprété par Dubé et al., (1991) et Legault et al., (2002) comme un dépôt syn-volcanique déformé (tableau 1). Les caractéristiques atypiques comparativement aux gisements orogéniques discutés plus tôt, ainsi que la possibilité d'interprétation syn-volcanique, comme l'exemple d'Eagle-Telbel, laissent alors la porte ouverte à de multiples origines pour les minéralisations aurifères encaissées dans les zones de failles.

Le dépôt aurifère Vezza, tout comme Lapa, Wona, Casa Beradi et Eagle-Telbel, est encaissé le long d'un contact lithologique ayant servi de corridor de déformation. L'étude de ce dernier afin de le caractériser, de le classer et de déterminer les facteurs importants pour sa formation, est alors une étape fondamentale pour la détermination de vecteurs d'exploration.

1.2 Problématique spécifique

La lentille aurifère principale de Vezza se distingue des autres dépôts aurifères par son style de minéralisation atypique sous la forme d'une carbonatation et silicification diffuse qui imprègne les roches le long du contact volcano-sédimentaire avec des proportions moindres de veines et veinules de quartz.

Ces caractéristiques, ainsi que la distribution concordante de la lentille, ouvrent la porte à diverses interprétations, car d'une part, ces caractéristiques ne collent pas directement avec un modèle génétique spécifique. D'autre part, les roches sédimentaires en contact avec la lentille aurifère renferment également des formations de fer. Celles-ci ont le potentiel de développer des minéralisations aurifères par remplacement des oxydes de fer par la pyrite (p. ex. Kerswill, 1996). Une attention particulière sera donc portée à la relation entre la présence de formation de fer et la

minéralisation. Le cas de la lentille de Vezza devient alors un sujet d'étude d'intérêt fondamental étant donné ses caractéristiques atypiques et son potentiel économique pour la région de Matagami.

1.3 Objectif

Le but de ce projet est de caractériser le dépôt Vezza et de déterminer les facteurs de contrôle qui ont mené à la formation de la minéralisation aurifère. Les objectifs spécifiques sont :

- 1) Définir les encaissants de la minéralisation ;
- 2) Établir la chronologie entre la déformation et la minéralisation ;
- 3) Déterminer l'assemblage minéralogique de l'altération et de la minéralisation ;
- 4) Déterminer la distribution de la minéralisation et des altérations hydrothermales ;
- 5) Établir des critères d'exploration aux échelles locale et régionale.

1.4 Méthodologie

Le tableau 2 présente les divers objectifs accompagnés pour chacun, d'une méthodologie et de l'appareillage nécessaire afin de réaliser chacun des objectifs. La méthodologie se sépare en deux segments principaux soit: 1) les travaux réalisés sur le terrain de la propriété Vezza; et 2) ceux exécutés en laboratoire à l'UQAC.

1) Les travaux réalisés sur le site du dépôt Vezza ont consisté à la description des unités lithologies, des altérations et de la minéralisation, à la cartographie de galeries à minerais, à la sélection d'échantillons pour analyses géochimiques et microscopique ainsi qu'à la prise de mesures structurales. Ces différents travaux ont été exécutés à partir des carottes de forage, des galeries d'exploitation minière souterraines et des expositions rocheuses à proximité de la rivière Allard.

2) Les travaux exécutés à l'UQAC ont été en majeure partie consacrés à l'étude pétrographique des différentes lithologies et de la minéralisation ainsi qu'à l'analyse par LA-ICP-MS (Spectroscopie de masse à plasma à couplage inductif alimenté par une ablation au laser) des sulfures et des oxydes de la lentille minéralisée et à l'analyse des inclusions fluides par spectrométrie de masse à sonde solide.

Les prochaines sections abordent, de manière plus spécifique, la méthodologie qui a été appliquée pour réaliser les objectifs.

1.4.1 Définir les encaissants de la minéralisation

Afin de réaliser cet objectif, une étude des carottes de forages du gisement Vezza a permis premièrement de distinguer les lithologies qui encaissent le dépôt. Par la suite, l'étude pétrographique des unités les moins altérées a été réalisée à l'aide d'un microscope optique et de lames minces polies. L'échantillonnage et le choix des lames minces ont été réalisés afin de représenter l'ensemble des lithologies retrouvées dans l'environnement de la mine et sont issus des carottes de forages et des chantiers d'excavation souterrains. La signature géochimique des éléments majeurs, mineurs et des éléments des terres rares des échantillons sélectionnés a aussi été déterminée. Les analyses géochimiques ont été générées par la compagnie ALS-CHEMEX. Le choix de la méthode d'analyse géochimique s'est arrêté sur le forfait ME-MS-81D et ME-MS-61 pour les éléments majeurs, mineurs et éléments des terres rares en plus d'une analyse AU-AA23 pour des teneurs en or précises.

1.4.2 Établir la chronologie entre déformation et minéralisation

Les gisements aurifères encaissés dans les zones de failles et interprétés comme orogéniques sont synchrones à tardifs à l'empreinte de la déformation ductile. Il est alors nécessaire de déterminer la chronologie relative entre cette empreinte et la minéralisation. Pour ce faire, l'observation des relations structurales et des relations de recoupement entre altération hydrothermale et déformation a été réalisée à partir des excavations souterraines et des quelques affleurements le long de la rivière Allard à l'ouest du dépôt ainsi qu'en lames minces.

1.4.3 Déterminer l'assemblage minéralogique d'altération et de la minéralisation

Afin de réaliser cet objectif, l'étude pétrographique de lames minces polies et la géochimie d'échantillon altérées et minéralisées ont été les méthodes privilégiées. À partir d'observations

mégascopiques, pétrographiques et des analyses géochimiques des éléments majeurs, mineurs et terres rares, l'assemblage minéralogique de l'altération et de la minéralisation a été déduit. En plus des observations microscopiques, plus d'une centaine d'analyses quantitatives au LA-ICP-MS ont été réalisées sur les sulfures et les oxydes. Elles apporteront plus d'information quant à la composition en éléments traces dans les zones minéralisées, particulièrement pour les sulfures, sachant pertinemment qu'ils sont probablement porteurs de l'or. La signature métallique déterminée par ces analyses a été traitée pour faire ressortir des implications métallogéniques. Une étude des inclusions fluides de certains échantillons de la zone minéralisée a aussi été réalisée à l'aide d'un appareil unique au LAMEQ. Cet appareil décrit par Gaboury et al. (2008), permet d'effectuer des analyses par spectrométrie de masse sur les inclusions fluides. Il permet de recueillir des données sur plusieurs gaz caractéristiques des fluides hydrothermaux (CH_4 , H_2O , N_2 , H_2S , SO_2 , CO_2 , C_2H_6 , Ar, H_2 , et He), contenus dans les inclusions fluides. Ces données ont servi à préciser certains paramètres hydrothermaux.

1.4.4 Déterminer la distribution de la minéralisation et de l'altération

La concrétisation de cet objectif a été atteint en couplant 1) les analyses pétrographiques et géochimiques réalisées pour l'objectif 3; 2) les cartographies souterraines, et 3) les données de la mine. En fonction des faciès d'altération et des styles de minéralisation, des cartographies vues en plans et en sections de leur distribution ont été effectuées à l'échelle de la mine. Des sections et des plans pour les altérations ont été dessinées. Ces cartographies ont été faites à partir des données de forages de North American Palladium, représentant plus de 45 km de forage, et des cartographies souterraines réalisées au cours des étés 2011 et 2012. Ces cartes avaient comme but de mettre en évidence les zonalités d'altération et de minéralisation autour et à l'intérieur de la lentille aurifère principale. La numérisation de cette carte a été exécutée principalement à l'aide du logiciel Map Info, disponible à l'UQAC.

1.4.5 Établir des critères d'exploration à l'échelle locale et régionale

Les éléments pertinents qui découlent des objectifs précédents ont été, dans le cadre de cet objectif, compilés et étudiés afin de mettre en œuvre des guides d'exploration. L'intégration et le couplage des données concernant; 1) la nature des encaissants; 2) les assemblages et la distribution des altérations et de la minéralisation; et 3) les facteurs de contrôle principaux, mis dans un contexte chronologique, ont permis de proposer un modèle métallogénique et l'élaboration de critères d'exploration.

1.5 Historique du projet

La première carotte de forage interceptant des teneurs aurifères sur la propriété a été faite en 1986 par les compagnies Dundee-Palliser Ressource et North American Rare Metal. En 1989, la compagnie Agnico-Eagle a pris part au projet. C'est en 1993 que les opérations de mise en exploitation ont débuté avec la construction d'un puits. En 1995, Agnico-Eagle achète la participation de Dundee-Palliser Ressource et de North American Rare Metal pour devenir propriétaire unique. Toutefois, la valeur de l'or à ce moment et les teneurs du gîte Vezza rendaient le projet non économique. Agnico-Eagle abandonne alors le projet en 1997 et noie la mine, tout en gardant les installations du puits en bonne condition pour les 13 années qui vont suivre. C'est en 2010 que la compagnie North American Palladium fait l'acquisition du projet et débute une seconde phase de développement et d'exploitation du minerai. Les opérations se sont poursuivies jusqu'en octobre 2013 au moment de sa fermeture étant donné la chute du prix de l'or. L'entreprise Maudore via la filiale Mine Aurbec fait ensuite l'acquisition du projet. Le 27 août 2015 l'exercice d'un recours hypothécaire permet à l'entrepreneur Promec d'acquiescer le projet Vezza. C'est finalement en septembre de cette même année via un partenariat avec Redevance Aurifère Osisko que les opérations minières à Vezza ont recommencé pour une troisième fois.

1.6 Contexte géologique

Le gisement Vezza est localisé à l'intérieur de la ceinture archéenne de roches vertes de la Sous-province de l'Abitibi, une subdivision de la province géologique de Supérieur (figure 1; Ludden et al., 1986; Chown et al., 1992; Mueller et al., 1996). Les roches de l'Abitibi sont elles-mêmes subdivisées en deux, soit la zone volcanique Nord (ZVN) dans laquelle se retrouve le dépôt Vezza et la zone volcanique Sud (ZVS; Chown et al. 1992). Ces zones volcaniques sont délimitées par la zone de failles de Destor-Porcupine-Manneville (ZFDPM; Mueller et al. 1996).

Les datations de Mortensen (1993) et de Davis (1992) impliquent une formation séquentielle d'arcs volcaniques commençant autour de 2730 Ma par la ZVN. Cette activité perdura jusqu'à 2705 Ma et est suivie de la formation de la ZVS entre 2705-2695 Ma. Les datations des plutons syn-tectoniques ont permis de mettre en évidence un période de collision arc-arc entre la ZVN et la ZVS. Cette collision, entre 2700 à 2690 Ma, est marquée par des contraintes en raccourcissement et est suivie par un épisode de décrochement entre 2690-2640 Ma (Mueller et al., 1996; Daigneault et al., 2002; 2004).

La stratigraphie de la ZVN consiste en une séquence de roches volcaniques et sédimentaires déterminée par Chown et al. (1992) comme étant le résultat des quatre épisodes suivants : 1) Cycle volcanique 1, constitue une vaste plaine de basalte monocyclique de type MORB avec de petits centres felsiques, formant la partie sud de la ZVN ; 2) Cycle sédimentaire 1, formation de bassins sédimentaires remplis de sédiments détritiques et volcanogènes reposant sur les plaines de basaltes du premier cycle; 3) Cycle volcanique 2, polycyclique, composé de laves mafiques à felsiques dans lequel on trouve le camp minier de Matagami ; 4) Cycle sédimentaire 2 couplé de volcanisme de type shoshonitique formant des bassins sédimentaires remplis de sédiments volcaniques, chimiques et détritiques, retrouvés dans les roches du cycle volcanique 2, à proximité du contact avec la Sous-province de l'Opatika.

1.7 Géologie régionale

Situé à 27 km à vol d'oiseau au sud-ouest de la ville de Matagami (figure 2 et 3), le dépôt aurifère Vezza est localisé à l'intérieur de la ceinture de Harricana-Turgeon représentant la partie nord-ouest de la ZVN de la Sous-province de l'Abitibi. Cette portion de la ZVN a été documentée principalement par Lacroix et al. (1990); et les informations ci-dessous sont tirées de cette source. La ceinture de Harricana-Turgeon est composée de 3 domaines lithotectoniques : 1) le complexe volcaniques Cartwright (complexe volcanique sud sur la figure 3); 2) le bassin sédimentaire du Taïbi, dans lequel est encaissé le dépôt Vezza; et 3) le complexe volcanique de Matagami, composé du Groupe du Lac Watson et du Groupe de Wabasee (figure 2 et 3). La limite sud de la ceinture est bordée par le Pluton pré- à syn-tectonique de Marest tandis qu'au nord de la propriété, les roches du Groupe de Wabasee sont recoupées par le Pluton syn-tectonique de Cavelier. Toutes les roches sont recoupées par des dykes protérozoïques de diabase d'orientation nord-est avec un pendage sub-vertical et sont recouvertes d'une épaisse couche de sédiments quaternaires reposant sur le socle archéen. Le métamorphisme régional est généralement aux faciès des schistes verts.

Le domaine volcanique de Cartwright est constitué de coulées de laves de composition basaltique à andésitique généralement à texture coussinée (Lacroix et al., 1990; Dussault, 1990). Ces laves sont interdigitées avec environ 20% de roches sédimentaires clastiques et volcaniques. Ces roches sont interprétées comme des plaines de laves en milieu marin profond (Gauthier et al., 1997).

Les roches sédimentaires du Taïbi reposent en concordance sur les laves du domaine Cartwright (Lacroix et al., 1990). Ils consistent en des séquences de turbidites de type Bouma, de formations de fer de type Algoma, de conglomérats polygéniques, d'horizons d'argilites graphiteuses et de 10-20% de coulées de laves basaltiques à andésitiques formant des horizons d'épaisseur moyennant 150 m interdigités avec les roches sédimentaires (Lacroix et al., 1990; Dussault, 1990). Le bassin sédimentaire du Taïbi a une grande extension est-ouest, étant cartographié de l'est de Quévillon jusqu'à l'ouest du dépôt Casa-Berardi (figure 3).

Le complexe volcanique de Matagami, au nord, est constitué de deux phases extrusives principales et distinctes. Premièrement, le Groupe du Lac Watson, constitué de laves felsiques d'affinité tholéitique, représente la base de l'édifice volcanique du complexe volcanique de Matagami. Ces roches sont surmontées par les roches du Groupe de Wabasse de composition andésitique (Piché et al., 1990).

Le corridor de déformation de Douay représente une zone de déformation et d'altération hydrothermale d'orientation est-ouest, d'une épaisseur de 1 à 5 km et encaissée le long du contact entre les roches du complexe volcanique de Cartwright avec les roches sédimentaires du Taïbi et s'étendant dans la partie sud du Taïbi (figure 3; Lacroix et al., 1990; Dussault, 1990). La déformation reconnue consiste en une série de cisaillements est-ouest, anastomosés, où l'on retrouve une forte schistosité et une linéation d'étirement sub-v verticale (Proulx, 1989; Proulx, 1990; Vaillancourt et Théberge, 2007). Des indicateurs cinématiques suggèrent un mouvement dextre (Proulx, 1989, 1990). Dans le secteur de Vezza, la zone de déformation de Douay est reconnue sur plus de 150 km partant du canton Douay et allant jusqu'au nord de Quévillon (Dussault, 1990). Les zones de cisaillement recoupent localement la séquence sédimentaire mais sont généralement intimement reliées aux zones de contacts entre les roches sédimentaires et les coulées de basaltes (Vaillancourt et Théberge, 2007) où elles sont localement porteuses de minéralisations aurifères significatives (Douay, Vezza, Discovery).

De manière locale, Gauthier et al. (1997) soulignent que le contact entre les roches sédimentaires et les roches volcaniques qui encaissent le dépôt Vezza montre des évidences de mouvement et ces auteurs l'interprètent comme la «faille de Vezza». Cette faille est d'une grande continuité est-ouest. Elle se traduit par la présence d'un shale graphiteux montrant des stries subverticales et subhorizontales. La faille de Vezza est de même orientation et en continuité latérale avec la faille de Casa Berardi à plus de 100 km à l'ouest. Cette dernière est interprétée par certains auteurs, comme une faille majeure, similaire à celle de Cadillac-Larder Lake (Card et al., 1989; Pilote et al., 1990).

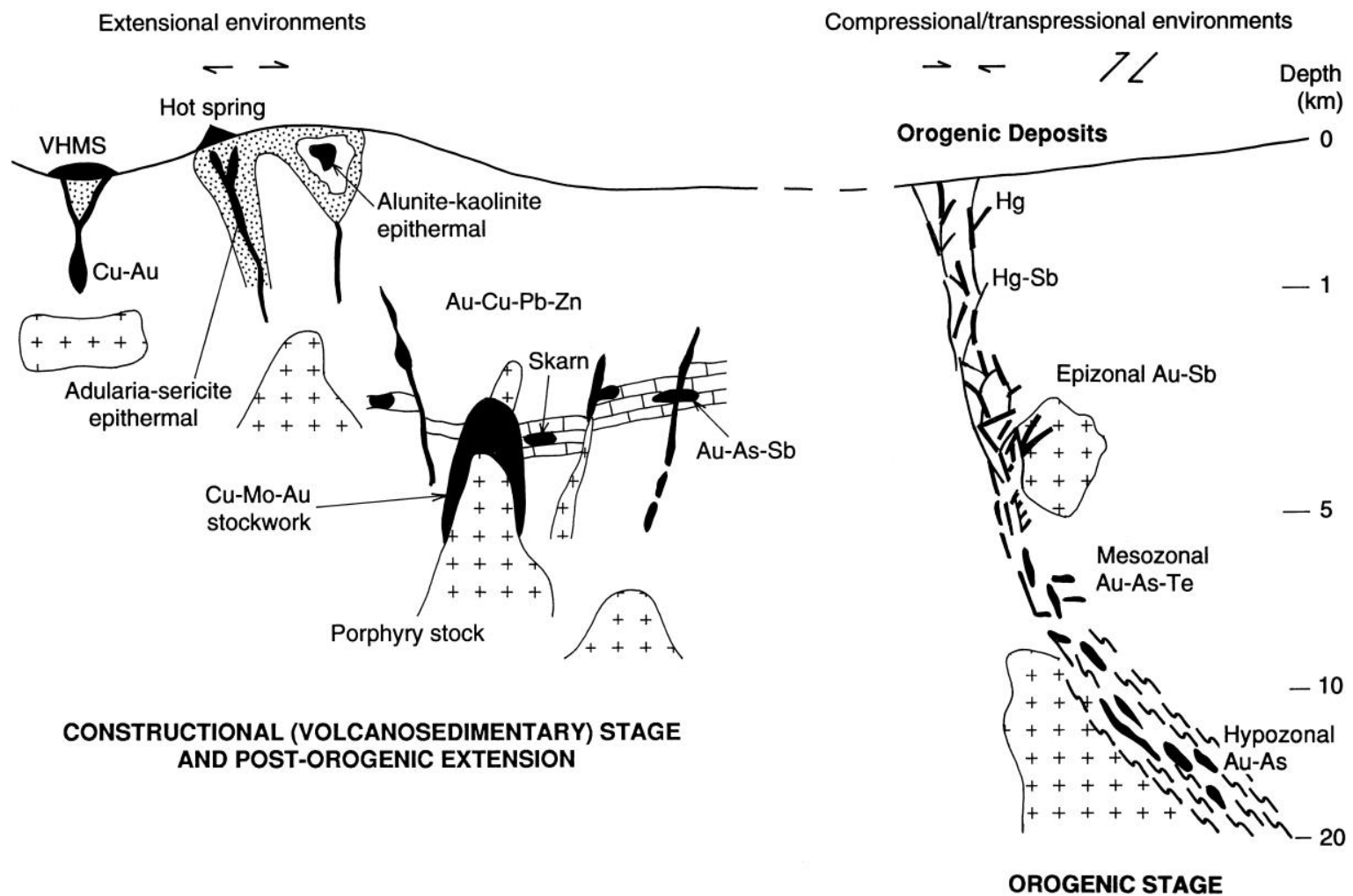


Figure 1 : Environnement de formation des divers types de dépôts aurifères hydrothermaux, tirée de Groves et al. (1998).

Nom du gisement :	Lapa	Wona	Eagle-Telbel	Casa-Berardi
Localisation :	Abitibi, zone volcanique sud	Birimien, Afrique	Abitibi, zone volcanique nord	Abitibi, zone volcanique nord
Zone de déformation :	Zone de déformation de Cadillac-Larder Lake	Zone de déformation de Wona	Zone de déformation d'Haricana	Zone de déformation de Casa Berardi
Encaissant :	Contact lithologique cisailé	Contact lithologique cisailé	Contact lithologique cisailé	Contact lithologique cisailé
Style de minéralisation :	Or disséminé dans roches altérées et veinules qtz.	Silicification massive à diffuse	Lentille stratoïde de py massive à semi-massive	Veines, veinules et stockwork de qtz-cb
Altération :	<u>Distale:</u> Chl, Bt / Hb, Gr <u>Proximale:</u> Chl, Qtz, Tour / Act, Chl, Mus	<u>Distale:</u> Chl, Cc, Mt; <u>Proximale:</u> Ser, Ank, Dol, Sil	Cabonatisation pénétrante, Ser faible	Dol, Ank, Ser, Mus
Signature métallique :	Au, As, Sb, Hg, W, Co, Ag, Cu, Pb	Au, As, Co, Ni, Se, Sb, Te, Pb, Ag	Au, <u>Ag</u> , As, Sb, W, Cr	Au, As, Bi, Pb, Ag, Sb, W
Interprétation	Syn à post-tectonique, syn-métamorphique	Pré à post-tectonique/ métamorphique	Syn-volcanique, pré-tectonique	Syn à post-tectonique, syn-métamorphique
Références	Simard (2011) Simard et al. (2013)	Augustin (2011) Augustin et al. (2016)	Dubé et al. (1991) Legault et al. (2002)	Pilote et al. (1990)

Tableau 1 : Caractéristiques principales des gisements sélectionnés et encaissés le long de failles majeures.

Objectifs	Méthodologie	Appareillage	Quantité
1) Définir les encaissants de la minéralisation aurifère	Cartographie en section et en plan. Observation macroscopique des lithologies les moins altérées	Carothèque Vezza et accès sous terre	2 vues en plan, 2 vues en sections
	Analyses minéralogiques, géochimiques et pétrographiques des lithologies non altérées	Microscope optique polarisé (UQAC)	10 lames minces
		Analyses géochimiques	10 analyses
2) Établir la chronologie entre déformation et minéralisation	Cartographie et analyse des éléments structuraux et des relations de recoupement des galeries sous terre	Accès sous terre	5 cartographies
3) Caractériser l'assemblage minéralogique d'altération et de minéralisation aurifère	Observation macroscopique de détail des lithologies altérées retrouvées dans les carottes de forage et les galeries sous terre	Carothèque Vezza et accès sous terre	N/D
	Analyses minéralogiques, géochimiques et pétrographiques des lithologies altérées et de la minéralisation	Microscope optique polarisé (UQAC)	20 lames minces
		Bubble Blaster (UQAC)	5 échantillons
		Analyses géochimiques	20 échantillons
	Distribution des éléments traces dans les sulfures	LA-ICP-MS (UQAC)	20 échantillons
4) Déterminer la distribution de la minéralisation et de l'altération	Cartographie de détail en section et en plan à l'aide des données de carottes de forages, des cartographies souterraines et des données d'exploitations minière de NAP	Logiciel Map Info (UQAC)	1 vue en plan et 1 vue en section par type d'altération et 2 vues et 2 sections pour la minéralisation.
5) Établir des critères d'exploration à l'échelle locale et régionale	Fusion des données	UQAC	N/D

Tableau 2 : Tableau listant les objectifs initiaux du projet, les méthodologies requises, les appareillages et mesures/analyses estimés comme nécessaires à la réalisation de l'étude.

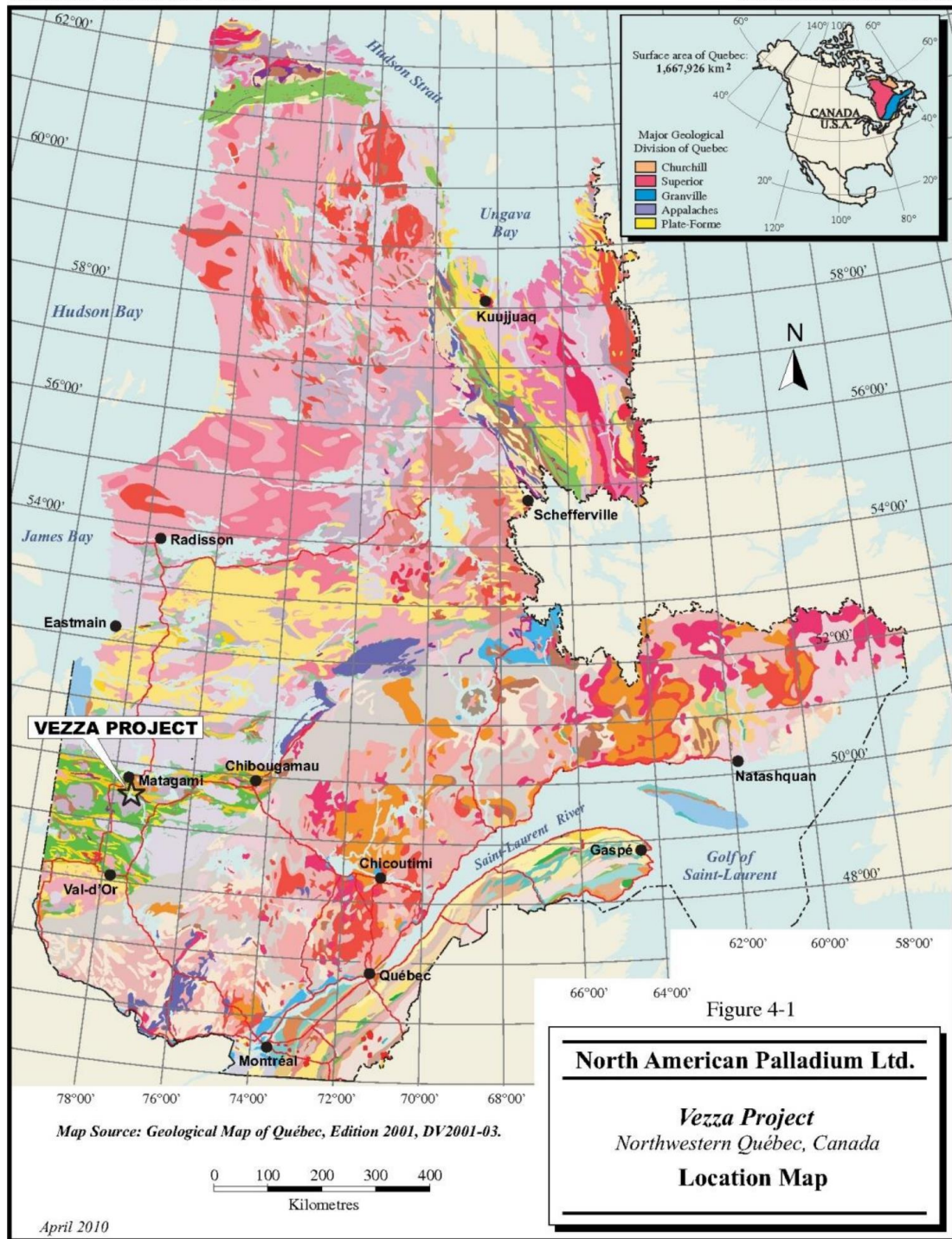
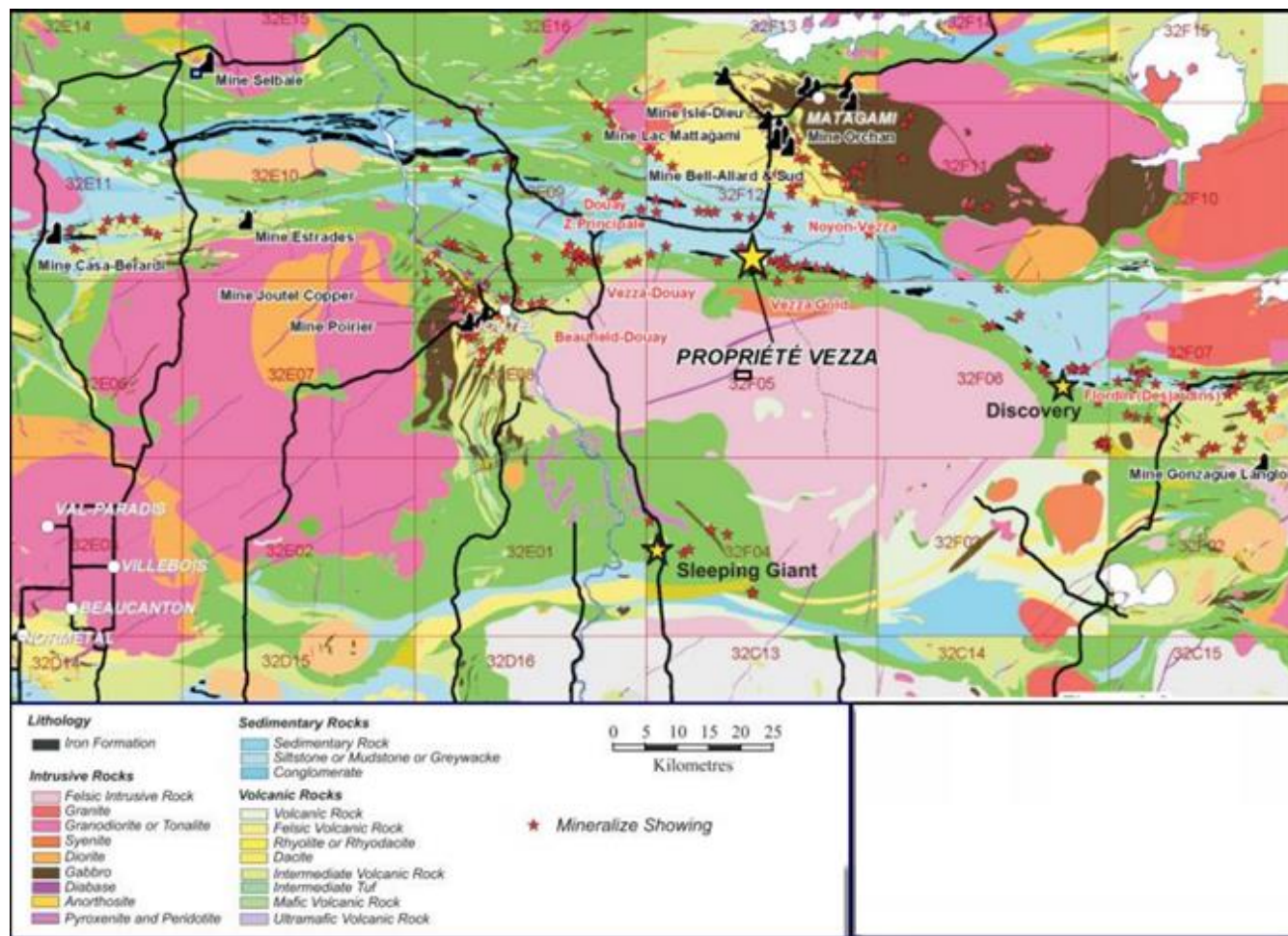


Figure 2 : Localisation du projet Vezza, tirée de Salmon et Pelz (2010).



CHAPITRE 2

Géologie locale

2.1 Introduction

Le dépôt Vezza se situe à l'intérieur de la ceinture volcanique nord de la province géologique de Supérieur (Ludden et al., 1986; Chown et al., 1992; Mueller et al., 1996), en plein cœur de la zone de déformation de Douay (figure 4). Le corridor de déformation et d'altération de Douay est d'orientation est-ouest (90-110°), d'une épaisseur plurikilométrique et est encaissé presque entièrement par les roches sédimentaires du Groupe de Taïbi (figure 4). La lentille aurifère se situe au contact entre des roches volcaniques, constituant l'éponte Nord, et les roches sédimentaires au Sud. Ces lithologies font parties intégrantes du bassin sédimentaire du Taïbi (figure 5). Le Groupe de Taïbi est constitué de roches sédimentaires clastiques, de roches sédimentaires chimiques et de 10 à 20% de coulées volcaniques mafiques (Lacroix, 1990; Dussault, 1990).

2.2 Carte géologique détaillée

La région de Matagami est connue pour la rareté des affleurements du socle rocheux. Les roches sont recouvertes par une épaisse couche de dépôts glaciaires, fluvio-glaciaires, glacio-lacustres et glacio-marins, principalement composés de till, de sable, de silt et d'argile, datant du quaternaire, et pouvant atteindre localement plus de 100 m d'épaisseur. Les seuls affleurements identifiés à proximité de la mine Vezza sont localisés le long de la rivière Allard à l'extrémité ouest de la propriété minière (figure 5). Cependant, comme il s'agit d'une mine en développement, une forte densité de forages se retrouve à proximité de la zone d'exploitation, en plus des galeries et chantiers souterrains. Dans un volume de roche défini par 360 m est-ouest par 300 m nord-sud et par une profondeur de 700 m, 566 forages ont été perforés pour un total de plus de 92 km de descriptions de carottes. Sur les 92 km, 19,76 km d'analyses aurifères réparties sur près de 21 000 intervalles minéralisés étaient disponibles lors de cette étude (figure 6A-B). Les premières campagnes de forages ainsi qu'une partie des forages récents ont été réalisés à partir de la surface. Étant donné que le pendage des roches est orienté vers

le sud, les forages ont été réalisés à partir des roches sédimentaires, au sud, en allant vers les roches volcaniques, au nord. Au contraire, les forages réalisés à partir des galeries souterraines, vont du nord vers le sud. La combinaison des forages en provenance de la surface avec ceux effectués à partir des installations souterraines permet une distribution uniforme de l'information entre l'éponte nord et l'éponte sud. À partir des informations issues des carottes de forages, des coupes nord-sud furent créées à intervalles réguliers de 20 m en incorporant une zone tampon de plus et moins 10 m (figure 6C-D). La première étape de cartographie fut alors complétée à partir de ces coupes nord-sud (grille locale à 8° de déviation avec le nord réel). L'emphase a été mise sur la cartographie des unités suivantes : 1) les roches sédimentaires chimiques (chert, jaspe, magnétite); 2) les roches sédimentaires clastiques (grauwackes ou encore litharénite volcanique, argilites); 3) les volcanites mafiques; 4) les dykes felsiques; 5) l'horizon d'argilite graphiteuse à proximité de la zone aurifère; et 6) la zone aurifère. Les cartographies des coupes en sections ont été compilées afin de créer des vues en plan. La figure 7 est le résultat de cette compilation des sections à l'élévation locale correspondant à l'interface socle rocheux/dépôt meuble. Cette carte montre premièrement que le contact volcano-sédimentaire à une orientation moyenne de 100°N et qu'il est marqué la plupart du temps par la présence d'une pélite graphiteuse. On remarque aussi sur cette carte que l'orientation générale de la zone minéralisée est la même que celle du contact volcano-sédimentaire. Les formations de fer présentées à la figure 7 ont une orientation moyenne de 96°N et sont d'une orientation légèrement différente de celle du contact volcano-sédimentaire. Sur cette même carte on peut aussi observer que l'orientation des formations de fer varie faiblement du sud vers le nord.

Des failles montrant un déplacement en plan d'ordre décimétrique à métrique ont été observées et cartographiées dans les galeries et chantiers souterrains. De telles structures sont nécessairement absentes de la cartographie de la figure 7 étant donné que la carte est entièrement basée sur des forages réalisés avec un azimut parallèle aux failles.

2.3 Description des lithologies

Les principales lithologiques rencontrées sur le terrain de la mine ont fait l'objet d'une étude pétrographique (lames minces) et géochimique (roche totale). Les prochains paragraphes traitent de manière exhaustive de chacune des lithologies. De plus, il faut prendre en considération le fait que l'ensemble des unités retrouvées sur le terrain de la mine a subi une altération hydrothermale, et ce, à différents niveaux d'intensité. Les éléments mobiles sont donc d'une fiabilité réduite afin de classifier et caractériser les lithologies. L'utilisation des éléments immobiles comme les ETR, éléments ayant un faible taux de mobilité lors de l'hydrothermalisme permettant ainsi de garder les mêmes rapports, a donc été préconisée. Des diagrammes de classification et des diagrammes multi-éléments seront présentés et interprétés. Il faut souligner ici que toutes les lames minces ont été réalisées perpendiculairement à la schistosité.

2.3.1 Les roches sédimentaires

Les roches sédimentaires constituent l'éponte sud de la lentille aurifère Vezza. Elles sont imprégnées d'une schistosité pénétrative exprimée par les plans de séricites et de chlorites. Les roches sédimentaires clastiques sont majoritairement des grauweekes et des pelites, mais la granulométrie atteint localement le faciès conglomératique. Cette étude décrit les deux principaux faciès clastiques, soit les grauweekes (échantillons V-11-02; V-11-03; V-11-04) et les pélites (échantillons V-11-05). Pour les faciès chimiques, ils sont constitués de lits de magnétite, de jaspe et de chert interdigités avec des horizons de pélites ou en moindre proportion de grauweekes. Un échantillon composé de lamines de magnétites interdigitées avec du jaspe et du chert a été sélectionné et a fait l'objet d'une analyse et d'une description (échantillons V-11-12).

2.3.1.1 Les grauweekes

Les grauweekes constituent la lithologie majoritaire de la partie sédimentaire du terrain de la mine et de l'éponte sud de la lentille aurifère du gisement Vezza. Ils forment des horizons

centimétriques à pluridécimétriques interdigités avec des pélites ou, en moindres proportions, avec des formations de fer. La couleur de la roche en cassure fraîche varie, passant d'un gris pâle avec des teintes légèrement bleutées jusqu'à gris moyen. La couleur de la roche est influencée par le pourcentage de minéraux argileux et l'intensité de l'altération hydrothermale (figure 8C-D). La patine d'altération de surface varie de gris pâle à gris moyen avec des teintes de rouille fréquentes. Selon les observations macroscopiques faites en carottes de forages et celles faites microscopiquement en lames minces, les proportions de matrices (≤ 30 microns) dans les grauweekes varient entre 30 et 55%. Macroscopiquement, les minéraux observables sont le quartz, les feldspaths, les carbonates, la séricite et la chlorite. En lames minces, on ajoute à cette liste la muscovite, la biotite, la pistachite (épidote ou encore clinozoïsite) ainsi que de la hornblende. Les feldspaths se retrouvant dans les roches sédimentaires sont fortement séricitisés et argilitisés (figure 9A-B). Les clastes de quartz et de feldspath sont allongés parallèlement aux plans de séricite et de chlorite (figure 9C et 9D). Les photographies de lames minces présentées à la figure 10 montrent que les grauweekes contiennent des amphiboles hypidioblastiques à idioblastiques poeciloblastiques avec des inclusions de quartz, de chlorite et de minéraux opaques. Ces amphiboles montrent des clivages parfaits à 56° . L'allongement des amphiboles est aléatoire, et dans certains cas, elles sont même perpendiculaires à la schistosité. On peut aussi voir sur la figure 10A et 10B que la schistosité est repoussée par ces amphiboles, indiquant clairement une croissance postérieure à l'acquisition des fabriques. L'assemblage minéral de ces roches indique que le métamorphisme a atteint le degré des schistes verts (chlorite + épidote). Cependant, la présence d'amphiboles et leur texture impliquent un influx de chaleur au faciès amphibolite.

Certains niveaux de conglomérat sont localement observables dans la partie sédimentaire. Ils ne représentent qu'une faible proportion des unités sédimentaires, mais lorsque rencontrés, la plupart de ces intervalles à granulométrie grossière évoluent graduellement vers des granulométries plus fines telles que présentées à la figure 11. Toutes les observations de granoclassement ont systématiquement indiqué une polarité des roches sédimentaires vers le nord.

2.3.1.2 Les argilites

La seconde lithologie sédimentaire en importance est l'argilite. Elle se retrouve sous la forme d'horizons d'épaisseurs centimétriques à décimétriques atteignant rarement plus de 50 cm, interdigités avec des grauweekes et des formations de fer. En cassure fraîche, les argilites sont gris foncé à noir. Cette couleur est influencée par l'intensité de l'altération hydrothermale (figure 8A-B). La patine d'altération des argilites est gris moyen à gris foncé avec des teintes de rouille. Les minéraux qui constituent ces roches ont une granulométrie fine (majoritairement $<30\ \mu\text{m}$), et les seuls minéraux identifiables macroscopiquement sont la chlorite, la pyrite et la séricite. En lames minces, on constate qu'elles sont constituées de minéraux tels que l'épidote, de fins grains de quartz subarrondis à arrondis, de chlorite et de pyrite. Comme le montre la figure 12A-B, la granulométrie de certains grains de quartz dépasse la limite des argiles de 30 microns, cependant, la majeure partie est composée de grains avec une granulométrie sous la barre des 30 microns (figure 12C-D). L'orientation de l'allongement des clastes de quartz, des cristaux de séricite et de chlorite est parallèle et forme une schistosité pénétrante dans la roche. L'altération se développe principalement en auréole autour des veines et veinules de quartz-carbonates-pyrite et se traduit par une chloritisation et une séricitisation (figure 12E-F). Certains horizons d'argilite ayant une altération prononcée en chlorite contiennent des proportions de 5-15% de pyrites grossières et cubiques atteignant jusqu'à 3 cm de diamètre. Du microlitage est facilement observable en lames minces et défini par des variations granulométriques (figure 12A-B). Certains cristaux de plagioclases sont identifiables, mais en faible proportion ($<2\%$). Le cortège minéral (épidote + chlorite) indique un métamorphisme au faciès des schistes verts.

2.3.1.3 Les formations de fer

Les sédiments chimiques retrouvés sur la propriété sont localisés exclusivement au sud de la lentille aurifère Vezza, dans la partie sédimentaire. Ces formations de fer rubanées (figures 13 et 14) sont constituées d'horizons de chert, d'oxydes de fer et de jaspe (figure 14A) d'épaisseur centimétrique à décimétrique interdigités entre eux ou encore avec de fins horizons d'argilites ou en moindre

proportion des grauwackes. Au final, ils définissent des enveloppes décimétriques à pluri-métriques majoritairement composés de sédiments chimiques.

Les cherts sont blanc crème, parfois beige avec des teintes jaunâtres. La minéralogie des cherts est dominée par le quartz, accompagnée de proportions variables de carbonates, et des traces de chlorite, de clinozoïsite, de magnétite, d'hématite. Les lits de jaspe sont d'une couleur rose pâle à rouge vif. Les mêmes minéraux s'y retrouvent. Cependant, les concentrations de magnétite et d'hématite y sont plus élevées (figure 14B). Les horizons d'oxydes ont une couleur noire d'aspect métallique (figure 13A) avec une patine d'altération de surface noire-brune légèrement rouillée. Ces horizons d'oxydes possèdent une dureté élevée et sont fortement magnétiques. La minéralogie y est la même que pour le jaspe et le chert, mais avec la magnétite et l'hématite maintenant comme phases minérales dominantes (figure 14A et C).

Les formations de fer localisées dans les secteurs les moins altérés, soit loin des zones aurifères, renferment peu ou pas de pyrite (figure 13A). Lorsque ces roches sont affectées par l'altération hydrothermale, la magnétite et l'hématite sont partiellement à entièrement remplacées par la pyrrhotine et la pyrite. Microscopiquement tout comme macroscopiquement, on remarque que cette sulfurisation est contrôlée par des veinules de quartz-carbonates et des fractures. Dans les zones montrant une forte altération hydrothermale, la magnétite est entièrement remplacée par la pyrite et seulement des reliquats de jaspe et de chert, plus réfractaires à l'altération, sont encore perceptibles et permettent l'identification du protolithe. Ces intervalles pyritisés renferment communément des valeurs aurifères, mais elles sont spatialement erratiques.

La présence de litage net et bien défini (figures 13A et 14A) et l'interdigitation dans la plupart des cas avec des argilites sont des évidences de formation en milieu calme et profond. Ces évidences couplées à l'absence de textures oolithiques et leur localisation à l'intérieur d'une ceinture volcanique d'âge archéen indiquent que ces formations de fer sont de type Algoma (Gross, 1996).

2.3.2 Les basaltes

L'éponte nord de la minéralisation aurifère de Vezza est constituée de roches volcaniques. Elles forment un horizon de volcanites de 300 à 400 m d'épaisseur interne au bassin sédimentaire du Taïbi avec une continuité est-ouest plurikilométrique (figures 4 et 5). Ces roches sont distribuées en horizons d'orientation est-ouest avec un pendage moyen d'environ 70° vers le sud. Une schistosité pénétrante est manifestée par des plans de chlorites qui se retrouvent recoupant l'ensemble des roches volcaniques. La schistosité y est cependant moins prononcée que celles observées dans les roches sédimentaires. Pour l'étude des roches volcaniques, trois échantillons ont été sélectionnés. L'échantillon V-11-01 provient d'une roche volcanique mafique à grains fins contenant une forte proportion de chlorite et de carbonates, c'est l'échantillon de roche volcanique mafique montrant le degré d'altération hydrothermale le plus élevé. L'échantillon V-11-09 provient d'un échantillon gabbroïque, il est faiblement chloritisé, carbonaté et les plagioclases y sont entièrement argilitisés et séricitisés. L'échantillon V-11-10 est porphyrique et montre des plagioclases argilitisés, mais aussi des phénocristaux de plagioclases frais, il représente l'unité volcanique la moins altérée des trois échantillons.

Les roches mafiques aphanitiques sont de couleur vert foncé à noir en cassure fraîche avec une patine d'altération grise-rouille moyenne (figure 15A et D). Des vésicules remplies de calcite et/ou de quartz y sont localement observables (figure 15D). L'étude pétrographique montre que ces roches ont une minéralogie dominée par la chlorite (40-60%) et les carbonates (10-30%), accompagnées de magnétite, de pyrite, de séricite, d'épidote et de quartz de cristaux de moins de 0,5 mm de diamètre (figure 16A-B). Certains grains de quartz ont des textures de recristallisation à jonction triple (figure 16C). Localement, les roches volcaniques de Vezza exposent des faciès en coussins (figure 15B-C) ou amygdalaires. La roche montre alors des cœurs de coussins d'une couleur gris vert pâle avec des bordures de trempe d'une couleur plus vert foncé. En carottes de forages, une minéralogie composée de chlorite, séricite, de carbonates, de pyrite, de pyrrhotine et de magnétite est reconnaissable. Aucun échantillon de lave en coussins n'a fait l'objet d'une étude pétrographique. Cependant, dans les

exploitations souterraines du niveau 650, un horizon de coussins met en évidence des formes en molaires (figure 17A).

Les roches mafiques avec des textures gabbroïques sont d'une couleur gris moyen avec des teintes verdâtres (figure 17B-C). L'étude pétrographique de la lame mince polie V-11-09 indique que la texture porphyrique à gabbroïque est manifestée par des phénocristaux de plagioclase et des porphyroblastes de chlorite et d'amphibole (figures 16D et 17C-D). Les plagioclases présents dans l'échantillon sont totalement séricitisés et argilitisés et ils atteignent un diamètre dépassant 2 mm. Les porphyroblastes de chlorites ont une dimension similaire aux plagioclases et un allongement minéral préférentiel dans le sens de la schistosité est observable (figure 16A). Les parties à granulométrie plus fines sont constituées de cristaux de feldspaths argilitisés de moins de 0,3 mm dans une matrice de chlorite, amphiboles, carbonates, minéraux opaques et quartz de moins de 0,1 mm. Des proportions minérales de 10-15% d'actinote (cristaux aciculaires, incolores, réfringence et biréfringence élevées, extinction de 11 à 16 degrés par rapport à l'axe de l'allongement minéral) sont identifiables.

Les amphiboles exposent des textures de croissance, de la bordure des cristaux de chlorite vers l'extérieur (figure 18A-B). Ces amphiboles aciculaires ont un allongement minéral aléatoire (figure 18C-D). Les textures de croissance de ces amphiboles et leurs orientations rappellent les textures des hornblendes retrouvées dans les roches sédimentaires, impliquant un métamorphisme au faciès des schistes verts supérieurs.

Certains horizons de roches volcaniques exhibent une texture porphyrique formée par des phénocristaux de plagioclase dans une matrice à grains fins (figure 17C-D). L'échantillon étudié contient 15% de phénocristaux de plagioclase avec une granulométrie de 0,5 à 2 mm de diamètre dans une matrice à grains fins. La matrice qui englobe les phénocristaux de plagioclase est constituée d'environ 40% de feldspaths argilitisés/séricitisés d'une granulométrie de 0,2 mm, et de cristaux inférieurs à 0,1 mm de chlorite, carbonates, amphiboles et quartz (figure 19A-C). Les phénocristaux de plagioclases ont une texture poecilitique avec des inclusions de hornblende, de chlorite, de séricite, de quartz et de carbonates. La calcicité des phénocristaux de plagioclase a été évaluée selon la méthode de la double

macles Albite-Carlsbad. Les observations en lames minces indiquent que leur composition se situe entre An50 à An75. Microscopiquement ainsi que macroscopiquement, les phénocristaux de plagioclases ne présentent aucune orientation préférentielle. Des amphiboles sont observables dans ces roches principalement sous forme d'inclusion poecilitique dans les plagioclases, dans les fractures ainsi que sur les bordures des grains de plagioclases (figure 19D). Ces amphiboles ne montrent aucune orientation préférentielle.

2.3.3 Les intrusions felsiques

À l'intérieur de la bande de roches volcaniques mafiques (figure 7), des dykes felsiques porphyriques à quartz et feldspath sont présents (figure 20A-B). Ces intrusions sont de couleur blanche grisâtre faiblement verdâtre avec une dureté élevée et sont non-magnétiques. L'échantillon V-11-11, pris dans l'un de ces dykes felsiques, expose une minéralogie constituée de phénocristaux de plagioclases, de quartz et de microcline dans une matrice de moins de 0,1 mm composée de quartz, plagioclase, de chlorite et séricite (figure 20C-D). Les phénocristaux de plagioclase ont une texture poecilitique avec de fines inclusions de carbonates, de chlorite et de séricite. Quelques cristaux de quartz (<10%) sont recristallisés avec des jonctions triples à 120 degrés. Les contacts entre les dykes felsiques et les roches volcaniques sont majoritairement nets avec des bordures de trempe aphanitiques. De plus, de petites enclaves de basaltes fortement chloritisées et séricitisées sont localement observées dans ces intrusions confirmant que les intrusions felsiques sont plus jeunes que les basaltes. Bien que ces intrusions felsiques soient communes dans les roches volcaniques, aucun dyke n'a été observé dans les roches sédimentaires.

2.3.4 Argilites graphiteuses

Deux horizons d'argilite graphiteuse ont été identifiés au cours de cette étude. Le premier horizon (figure 21A), a été retrouvé dans les installations souterraines du niveau 650, à l'intérieur de la bande de roche volcanique, à plus d'une cinquantaine de mètres de la zone aurifère. Il est constitué

d'un mélange d'environ 20-40% de pyrite nodulaire dans une matrice de verre volcanique, d'argilite et de graphite. Cet horizon est localisé à l'interface entre deux coulées de lave mafique coussinée. En lame mince, on voit la texture nodulaire qui est manifestée par de la magnétique concentrique développée autour des impuretés. La magnétite se présente de manière préférentielle dans les cassures et souvent accompagnée de quartz, mais aussi sur la bordure des grains de pyrite. L'échantillon sélectionné pour cette étude contient approximativement 60% de pyrite nodulaire. Le 40% restant compose la matrice qui est constituée elle-même de verre volcanique (17%) de quartz (8%), de carbonates (8%) et de graphite (7%) ainsi que des traces d'autres grains de pyrites idioblastiques à hypidioblastiques et à granulométrie fine.

Le deuxième horizon (figure 21B) est celui cartographié à la figure 7. Il se retrouve directement ou à proximité de l'interface volcano-sédimentaire. Cet horizon d'argilite graphiteuse a une minéralogie composée de chlorite, séricite, carbonates, graphite et quartz. Il est majoritairement minéralisé et entièrement à partiellement inclus dans le minerai aurifère. Une description de cet horizon, en lien avec la minéralisation, est présentée au chapitre 5.

2.4 Géochimie des lithologies

Au cours de cette étude, une analyse de roche totale a été réalisée pour chaque échantillon étudié en lames minces. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire ALS-chemex selon la procédure géochimique ME-MS-81 utilisant une décomposition par fusion au metaborate de lithium et analyse par ICP-MS. Pour les roches sédimentaires, les quatre échantillons de grauweekes (V-11-02, V-11-03, V-11-04) l'échantillon de pélites (V-11-05) et l'échantillon de grauweeke et de pélite (V-11-06) montrent exactement le même spectre des éléments des terres rares (ETR) lorsque normalisés sur la chondrite C1, sur PAAS ou encore sur le manteau primitif (figure 22), indiquant une source détritique similaire pour les argilites et les grauweekes. L'échantillon V-11-02 est celui contenant le plus de plagioclases, expliquant son spectre ETR plus riche en terres rares légères. Pour les roches mafiques, les profils d'éléments des terres rares (ETR) normalisés sur la chondrite (figure 23) révèlent que la

source magmatique des trois échantillons est la même, de type N-MORB, avec un spectre légèrement appauvri en ETR léger, suggérant un magma issu d'un manteau appauvri. Selon les classifications de Winchester et Floyd (1977) et de Pearce (1996), ces roches volcaniques sont de composition basaltique à andésito-basaltique (figure 24A-B-C). La classification de Ross et Bedard (2009) permet de déterminer une affinité tholéiitique à ces roches volcaniques (figure 24D). Le patron ETR de l'analyse prise dans une intrusion felsique présente une différence notable par rapport aux laves mafiques. Le profil de cette analyse montre un fractionnement important lié à un appauvrissement en terres rares lourdes (figure 23). La classification de ces analyses selon les diagrammes de Winchester et Floyd (1977) ainsi que de Pearce (1996) indique une composition trachy-andésitique à rhyodacitique (24A-B-C). La classification de Ross et Bédard indique une affinité magmatique calco-alkaline pour les dykes felsiques (Figure 24D). Enfin il faut souligner que la différence entre la chimie des roches volcaniques et des roches sédimentaires implique une source spécifique pour les sédiments.

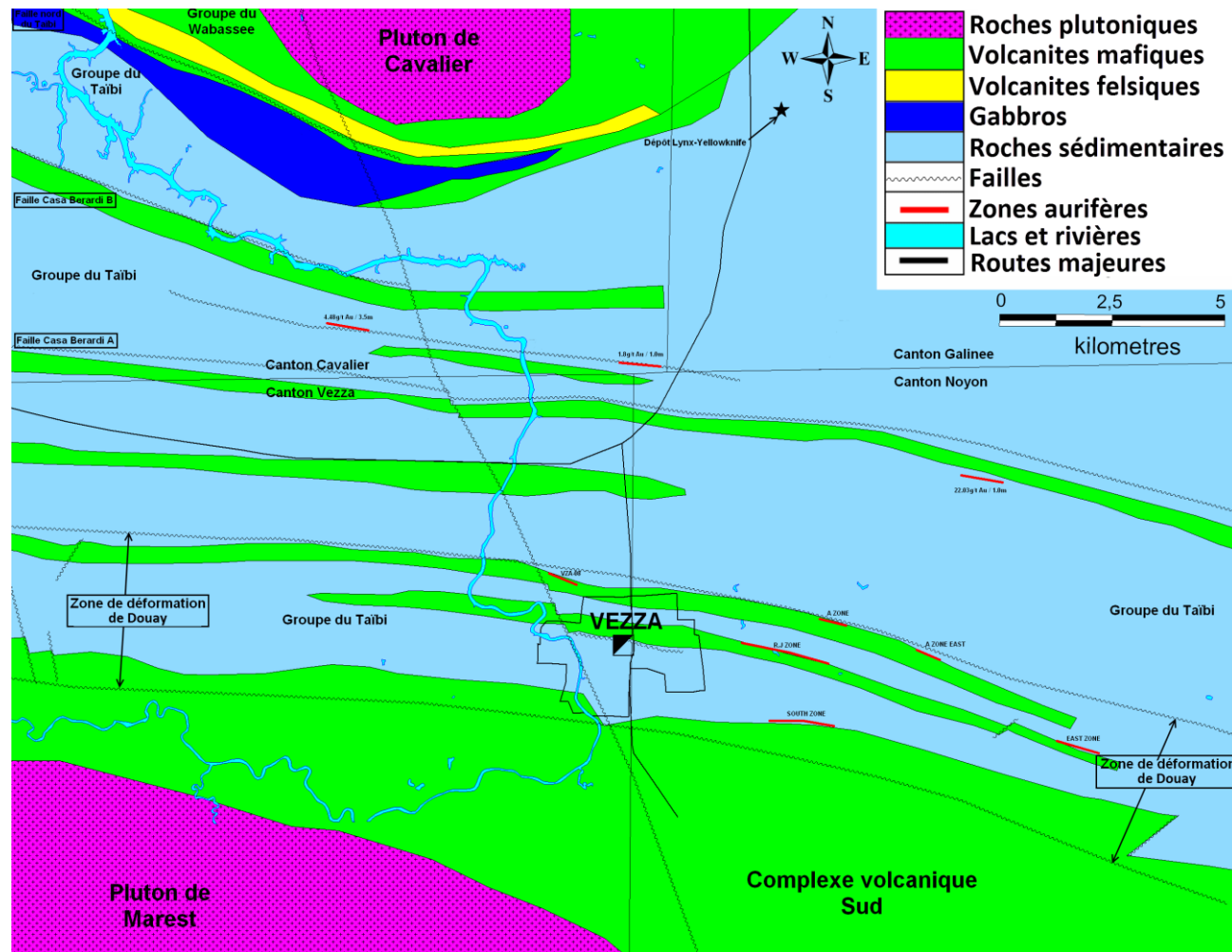


Figure 4 : Géologie régionale de la mine Vezza, modifiée des travaux d'Agnico-Eagle.

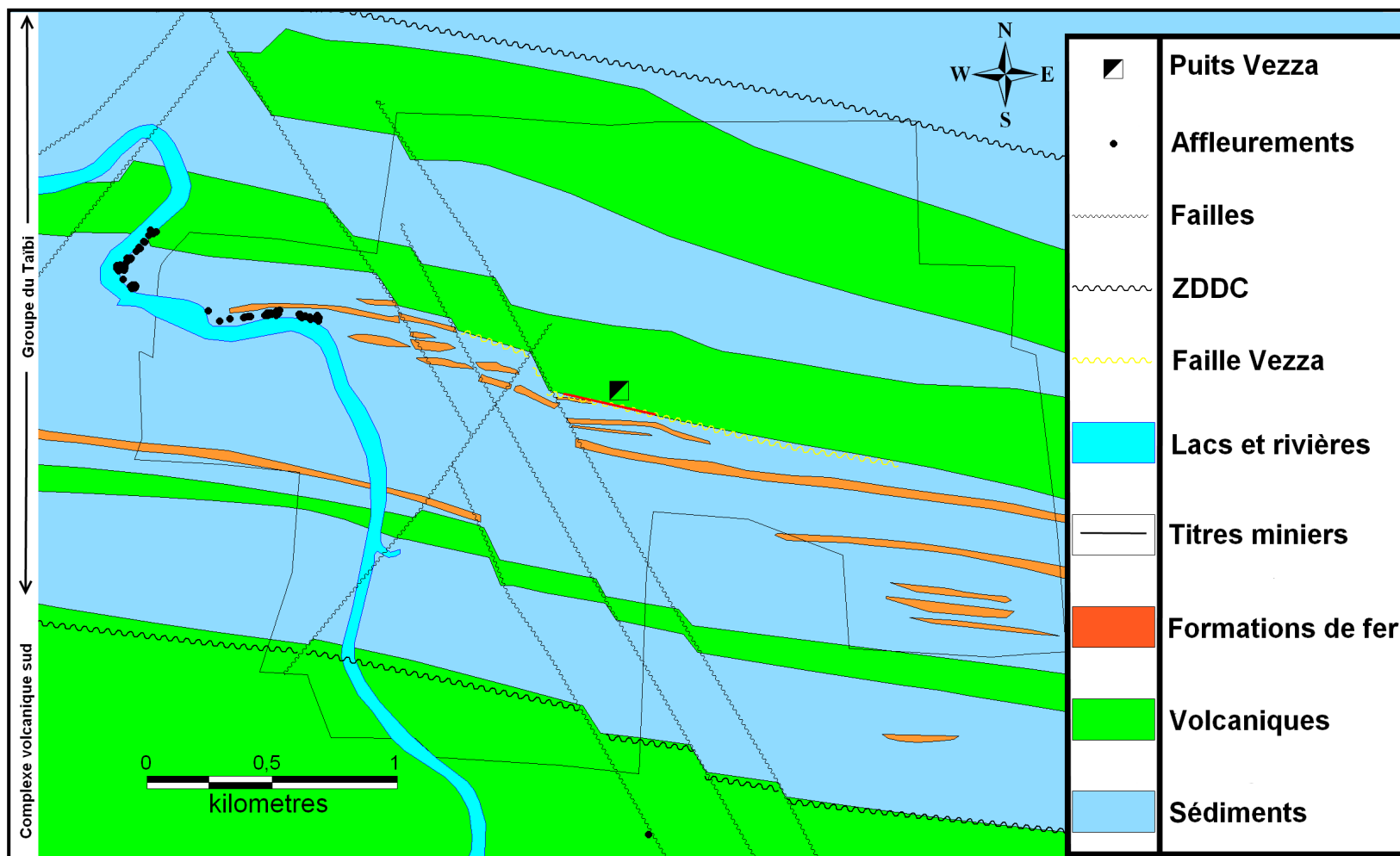


Figure 5: Géologie locale de la mine Vezza, modifiée des travaux d'Agnico-Eagle.

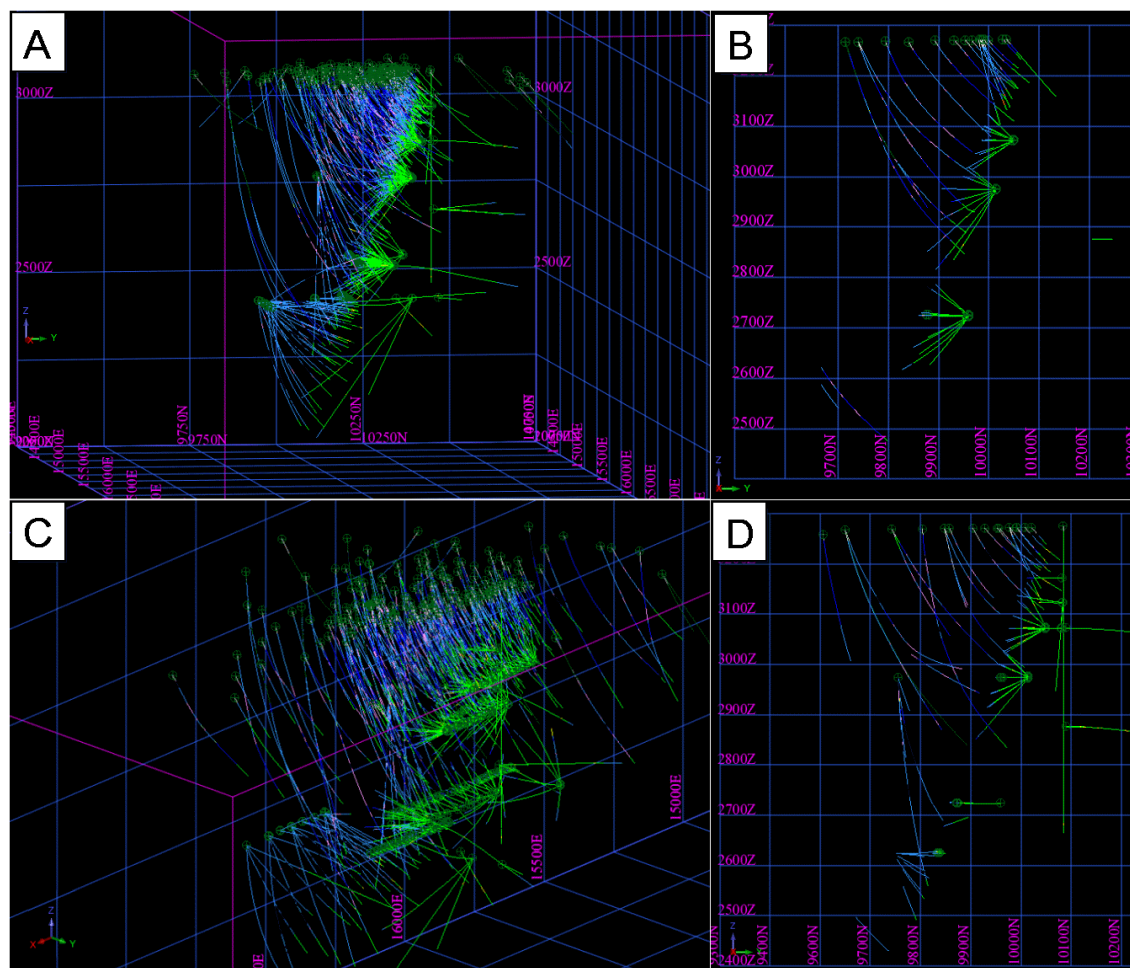


Figure 6 : Aperçu 3D montrant la distribution spatiale des forages utilisés pour la cartographie des lithologies et de la zone minéralisée de la figure 8 (A et B). Les figures C et D sont des exemples de sections qui ont été créées aux 20 m et ensuite cartographiées et représentent les sections 16440 et 16560 respectivement.

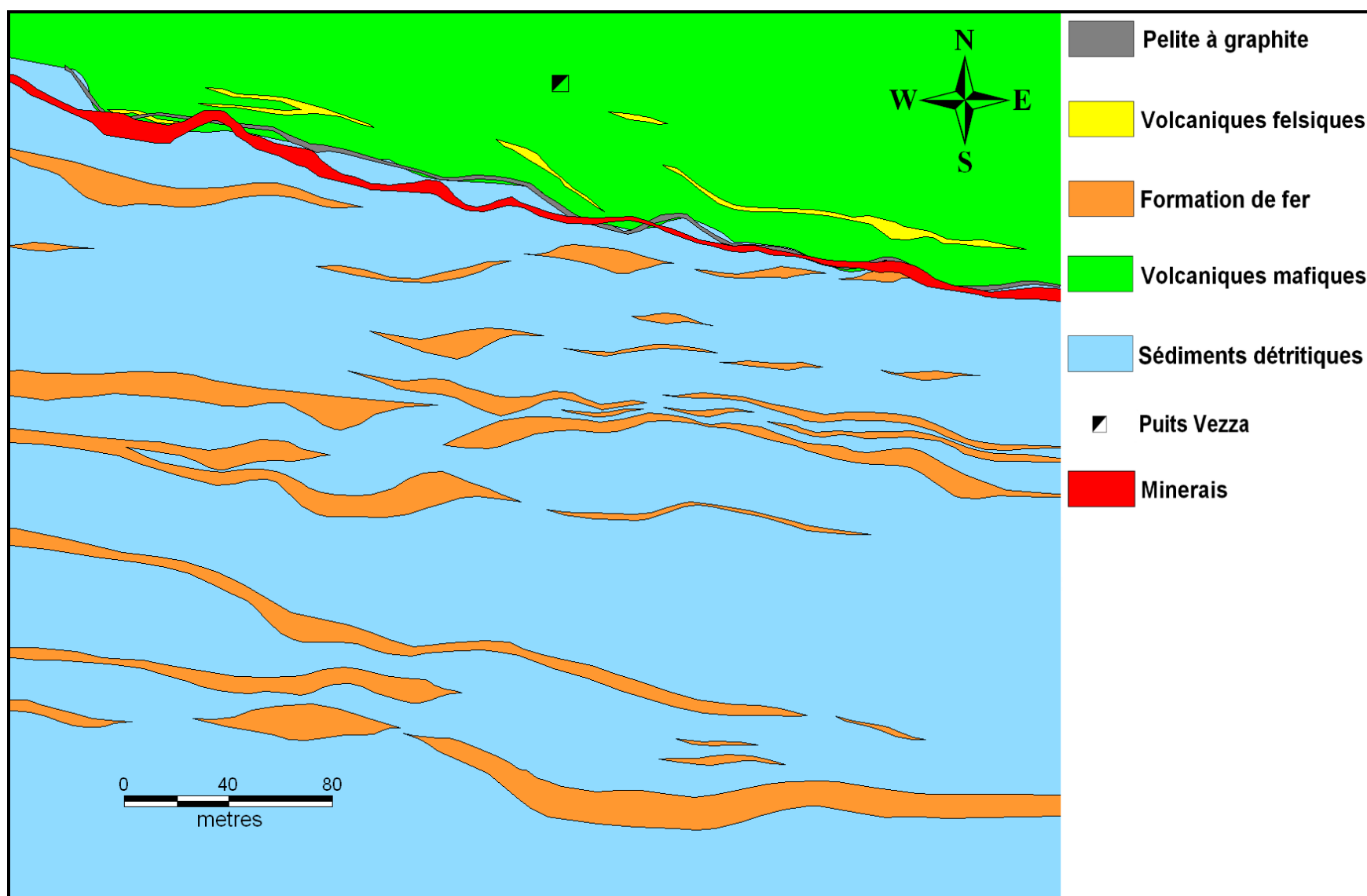


Figure 7 : Cartographie de détail au niveau du socle rocheux réalisée à partir des forages.

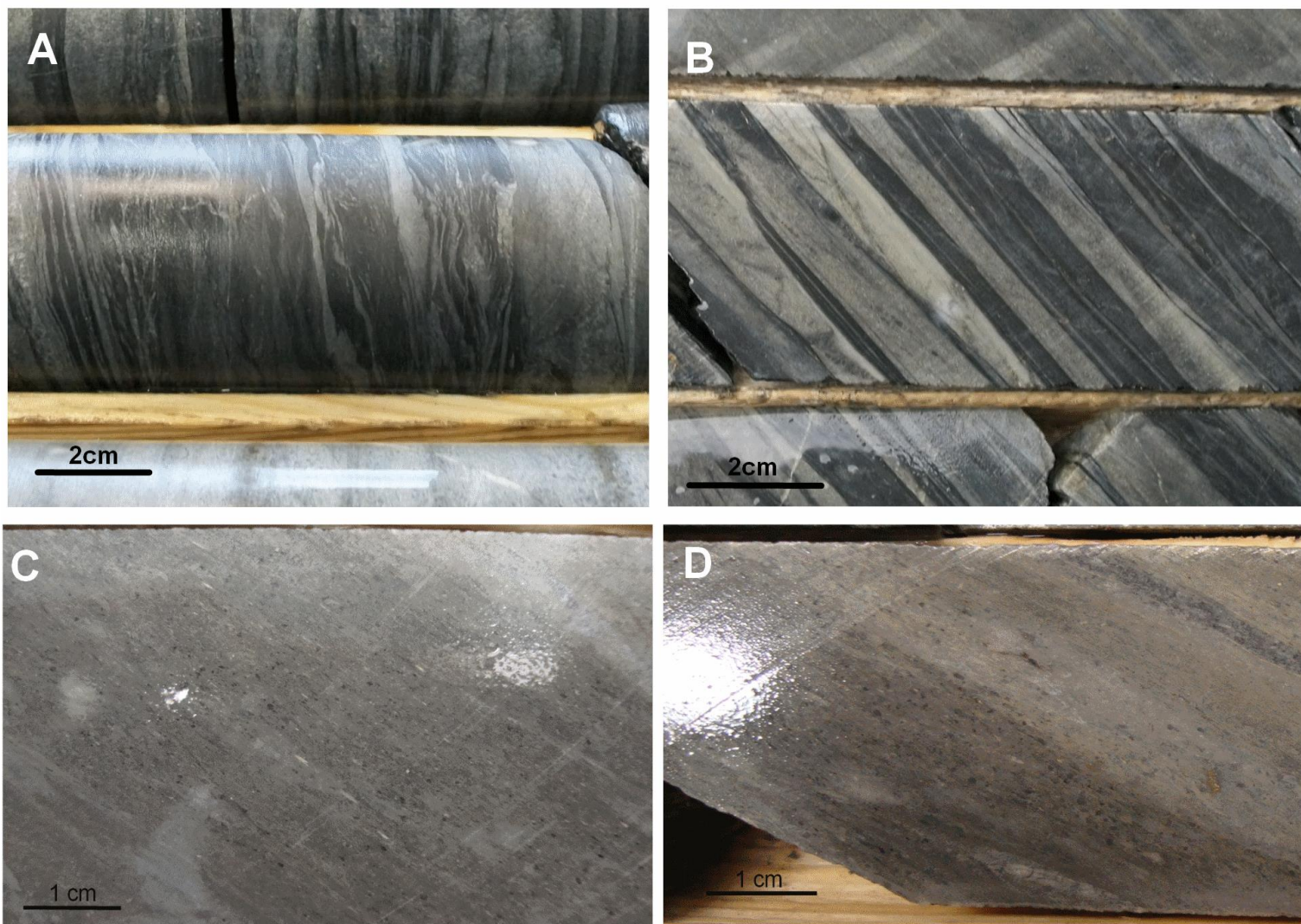


Figure 8 : Photographies macroscopiques en carottes de forages. A) Argilite recoupée par des veinules de quartz/carbonates comme retrouvées dans la plupart des cas dans les environs de la mine; B) Alternance d'horizons d'argiles chloritisées et de greywackes séricitisés; C) Greywacke avec grains de plagioclase fortement allongés, forage V-10-192; D) Greywacke recoupé par une veinules de quartz montrant une zonalité de l'intensité de l'altération et son l'influence sur la couleur de la roche.

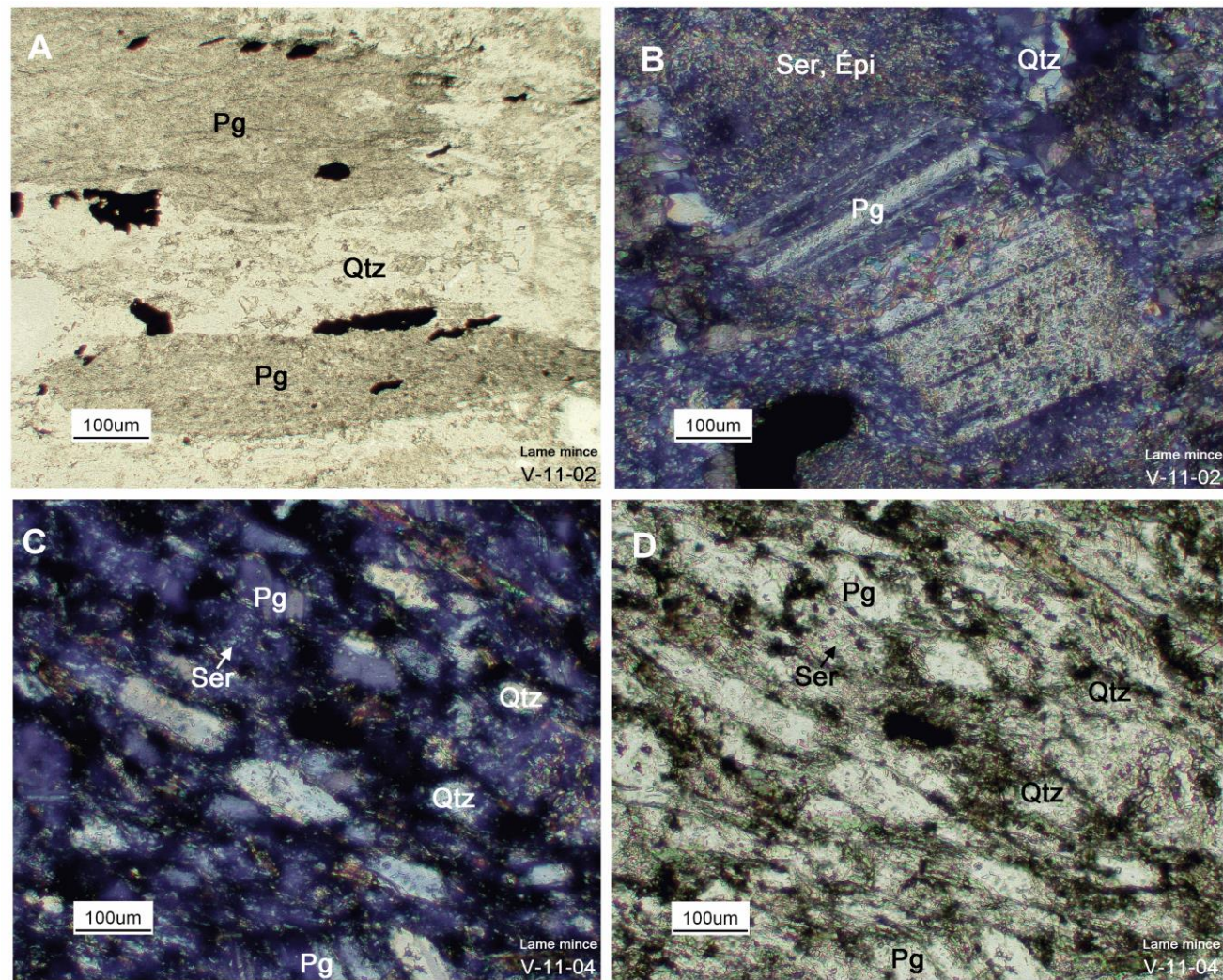


Figure 9 : Photographies microscopiques. A) Plagioclases argilitisés et séricitisés en lumière naturelle transmise; B) Plagioclase séricitisé, lumière polarisée; C) Allure typique des greywackes montrant des grains de quartz et plagioclases arrondis et allongés dans une fine matrice composée de séricite et de minéraux des argiles, lumière polarisée; D) Quartz détritique et plagioclase en lumière naturelle.

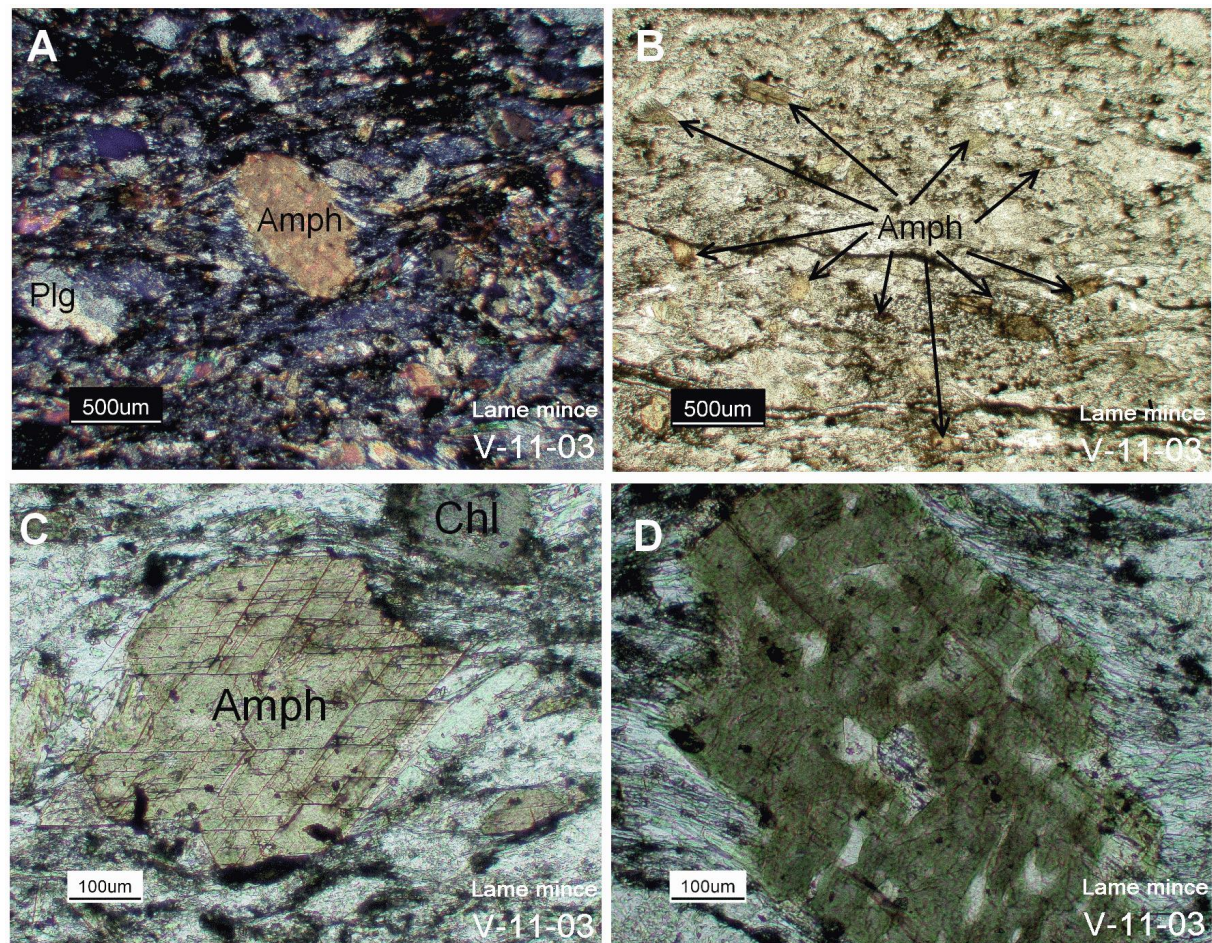


Figure 10 : Photographies microscopiques. A) Photographie en lumière polarisée d'une hornblende brune avec allongement minéralogique perpendiculaire à la schistosité; B) Photographie montrant une section de lame mince riche en hornblende brune; C) Amphibole idioblastique avec clivage à 56°; D) Amphibole idioblastique qui croît sur de la chlorite



Figure 11 : Exemple d'intervalle de roches sédimentaires montrant des passages de granulométrie décroissante passant de conglomérat à grauwaacke, indiquant que la polarité est vers le nord, forage V-11-245A.

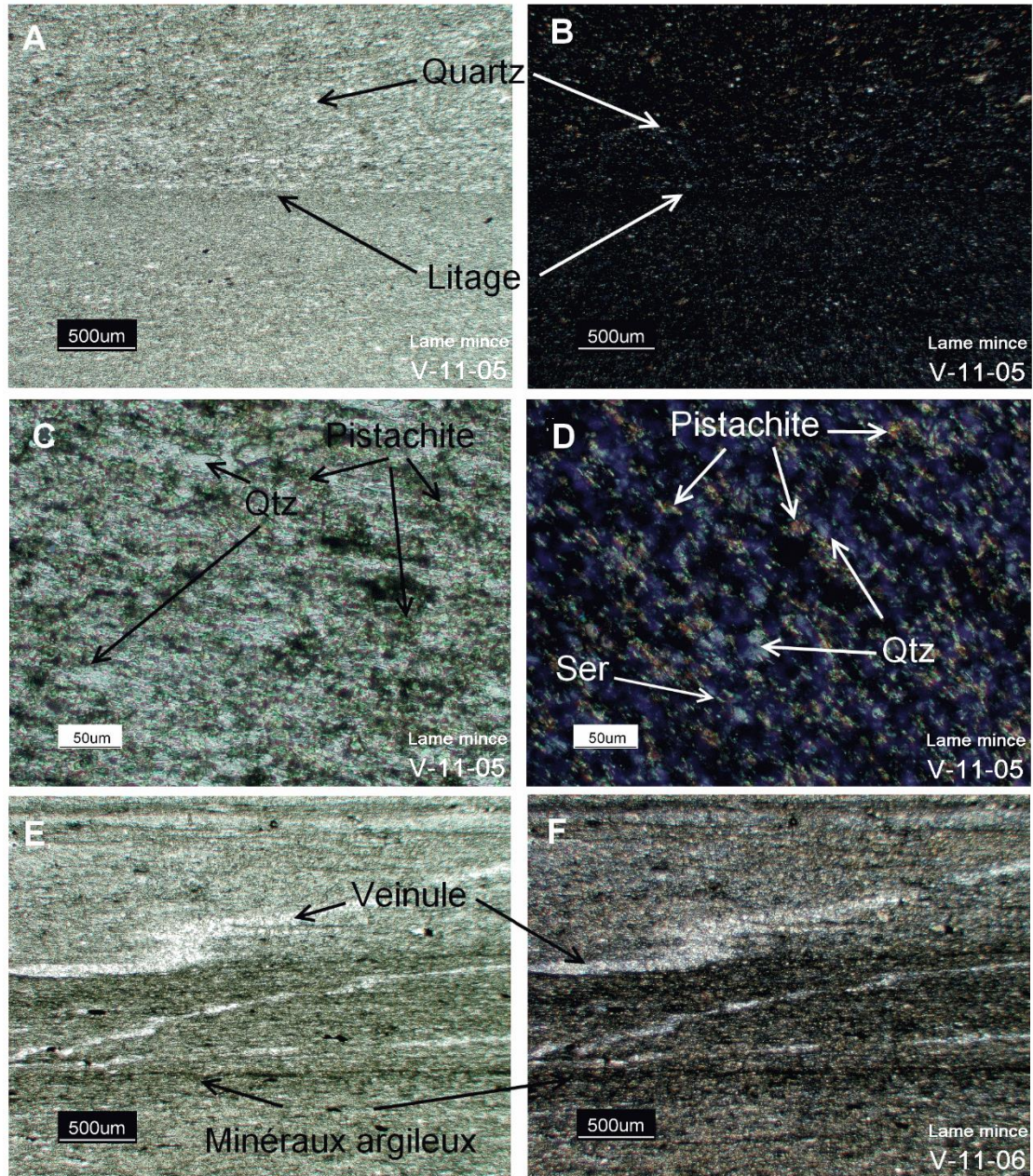


Figure 12 : Photographies microscopiques. A et B) Photographies en lumière naturelle (A) et polarisée (B) montrant du litage et un changement distinct de granulométrie ; C et D) Photographies en lumière naturelle (C) et polarisée (D) montrant la minéralogie (pistachite+quartz) de certaines sections des argilites; E et F) Photographies en lumière naturelle (E) et polarisée (F) d'une alternance de grauwaacke et d'argilite recoupée par des veinules de quartz.

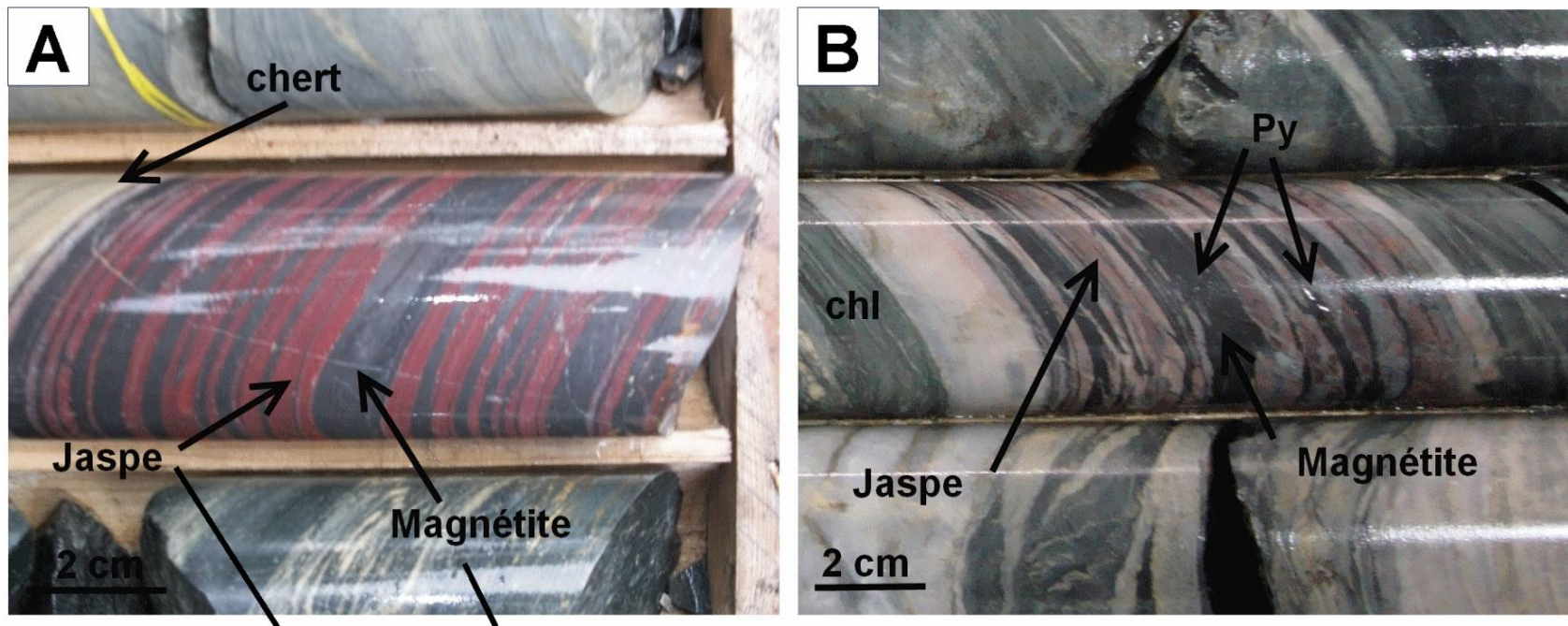


Figure 13 : A) Formation de fer montrant des laminations de magnétite massive et de jaspe, forage V-10-192 ; B) Formation de fer cisailée composée de chert, jaspe et magnétite et faiblement altérée en sulfures, forage V-10-212.

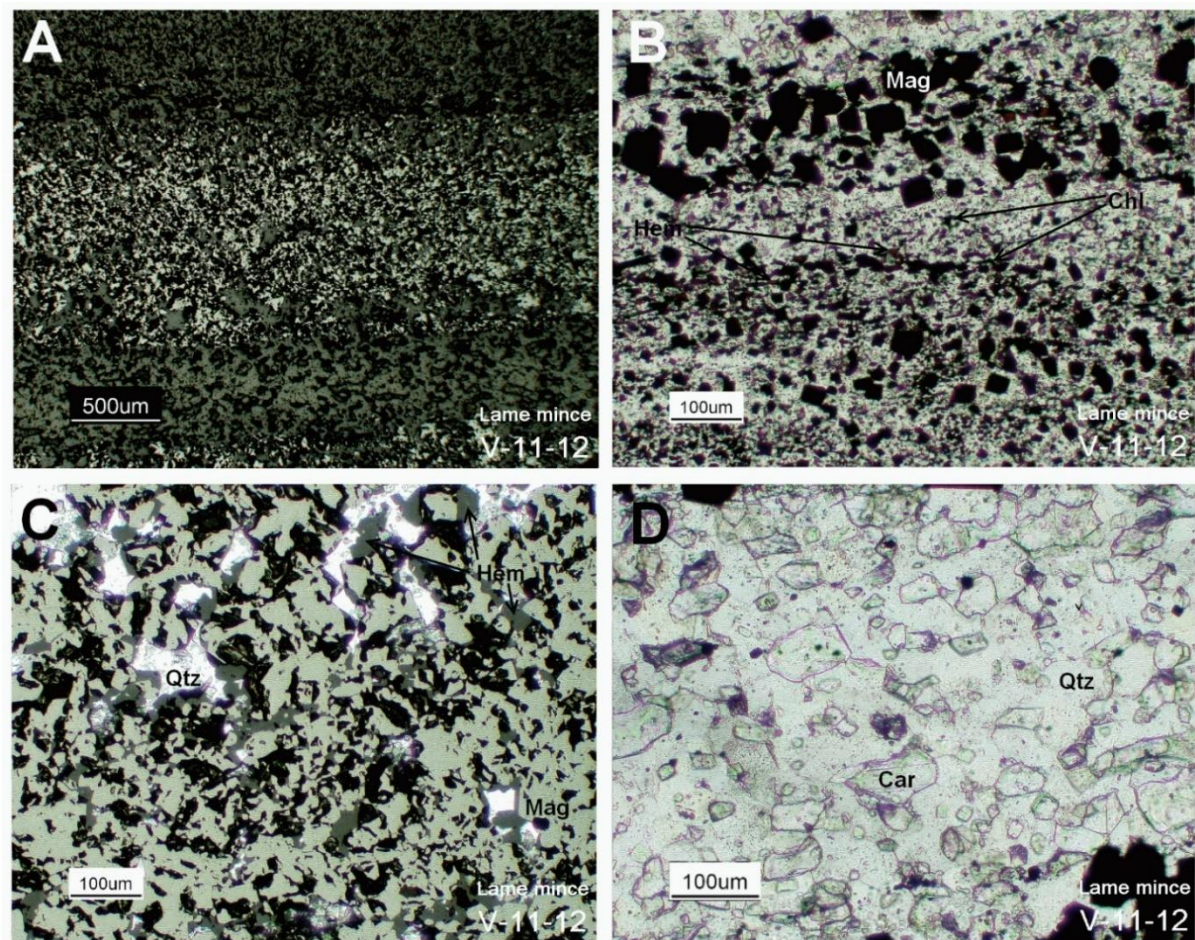


Figure 14 : Photographies microscopiques. A) Photographie en lumière réfléchie d'une formation de fer avec alternance de chert et de magnétite ; B) Photographie en lumière transmise d'un lit de jaspe montrant des cristaux prismatiques de magnétique dans une matrice de quartz ; C : Photographie en lumière réfléchie d'un horizon d'oxyde de fer composé de magnétite et d'hématite ; D) Photographie en lumière transmise d'un horizon de chert composé de quartz et de carbonates.

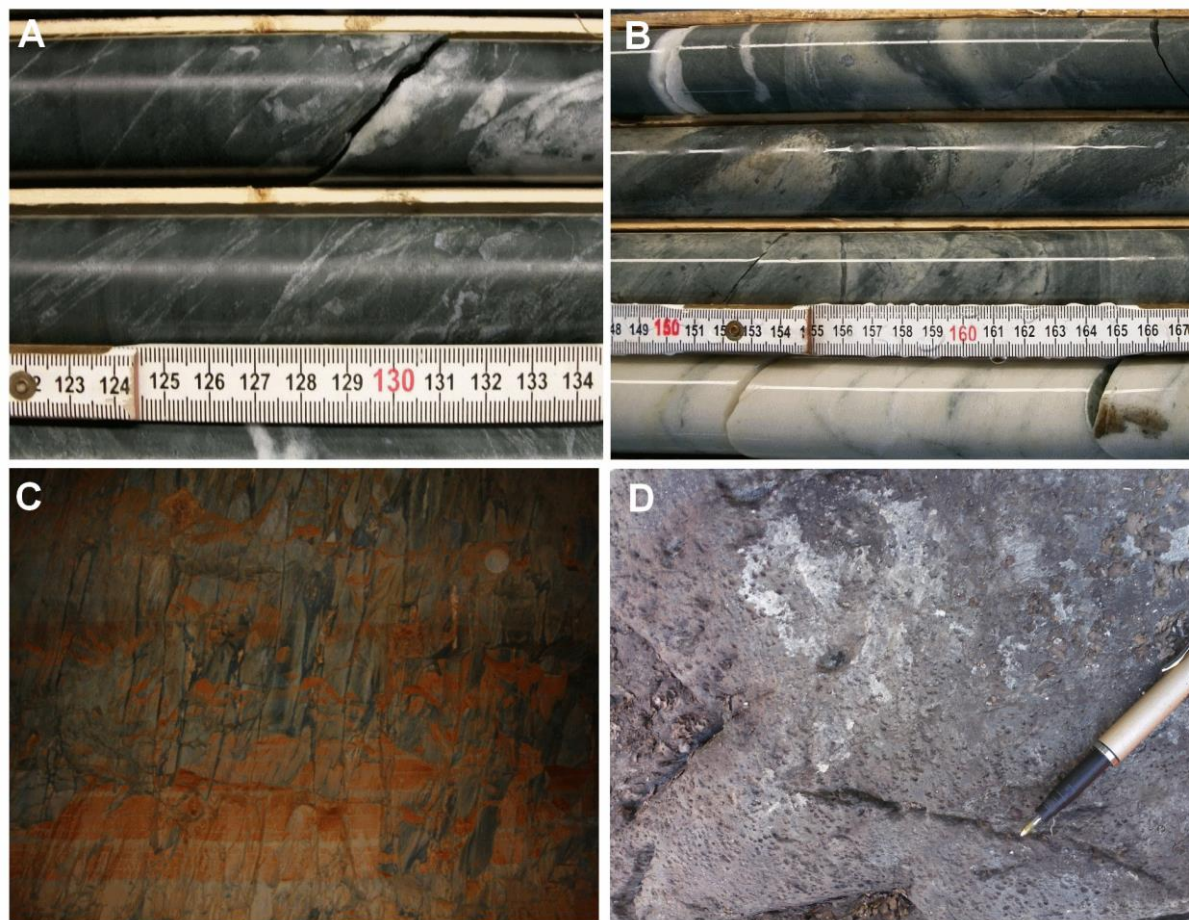


Figure 15 : A) Photographie montrant l'allure des typiques des roches volcaniques aphanitiques en carottes de forages ; B) Roche volcanique coussinée montrant de bordures de trempes chloritisées ; C) Photographies des roches mafiques coussinées, galerie d'accès niveau 650 ; D) Basaltes amygdalaires en patine d'altération de surface le long de la rivière Allard.

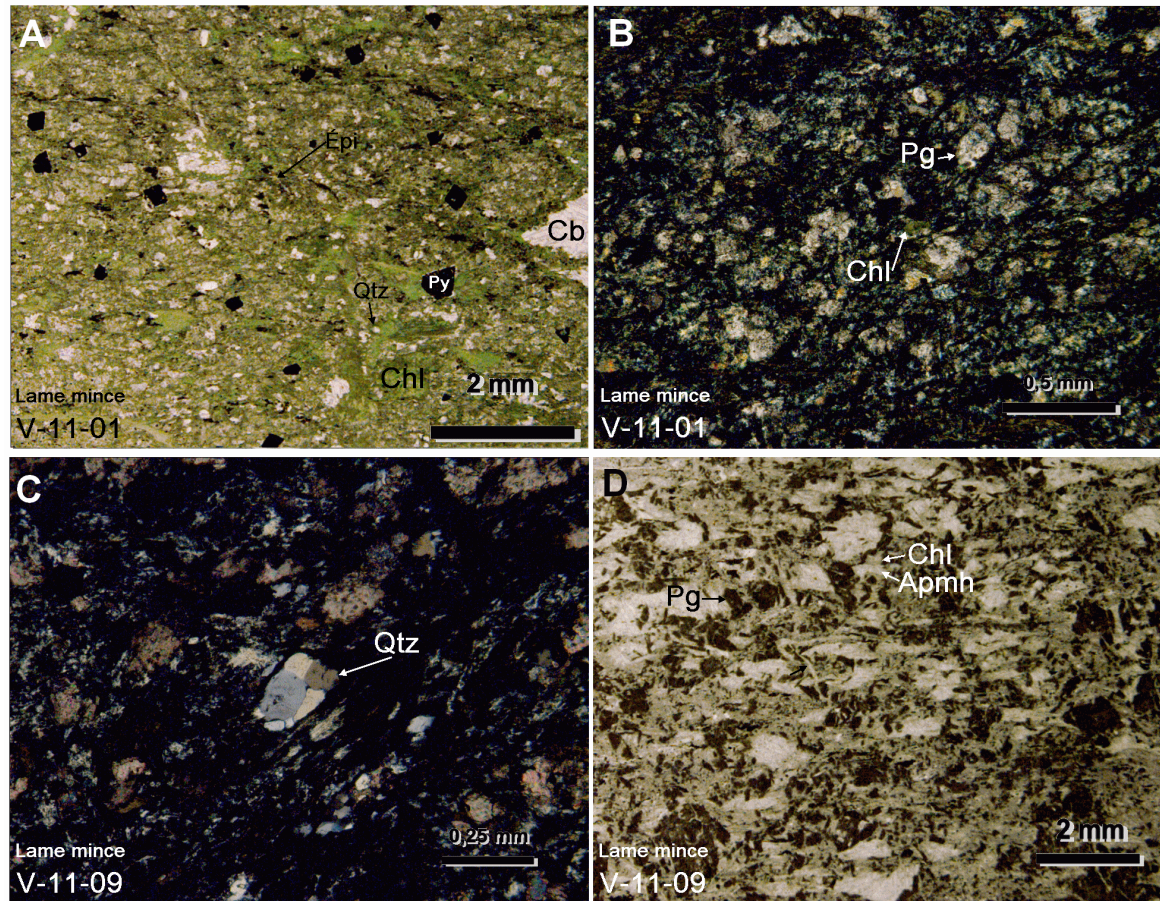


Figure 16 : Photographies microscopiques. A) Photographie en lumière transmise naturelle montrant la minéralogie d'un basalte à grains fins; B) Photographie en lumière transmise polarisée d'un basalte à grains fins; C) Amygdale de quartz montrant une texture de recristallisation avec bordures à jonction triple à 120°; D) Photographie en lumière transmise naturelle avec une texture gabbroïque exprimée par des phénocristaux de plagioclases altérés (Brun) et des porphyroblastes de chlorite et d'amphibole (minéraux pâles).

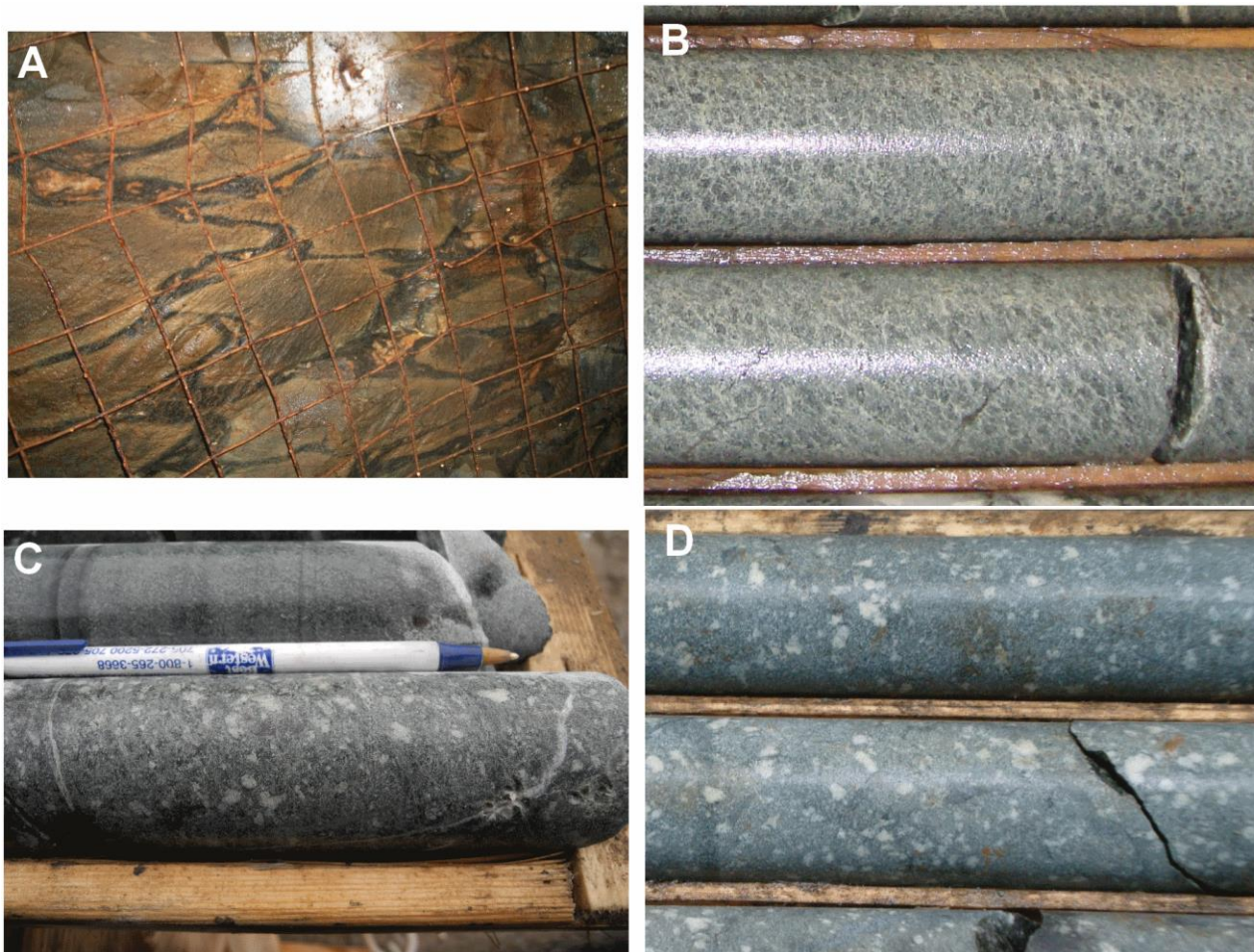


Figure 17 : Photographies des basaltes. A) Basaltes coussinés au plafond d'une galerie du niveau 650 montrant des formes en molaires permettant de déterminer le regard structural des laves vers l'Est ; B) Basalte à texture gabbroïque ; C et D) Basalte à texture porphyrique.

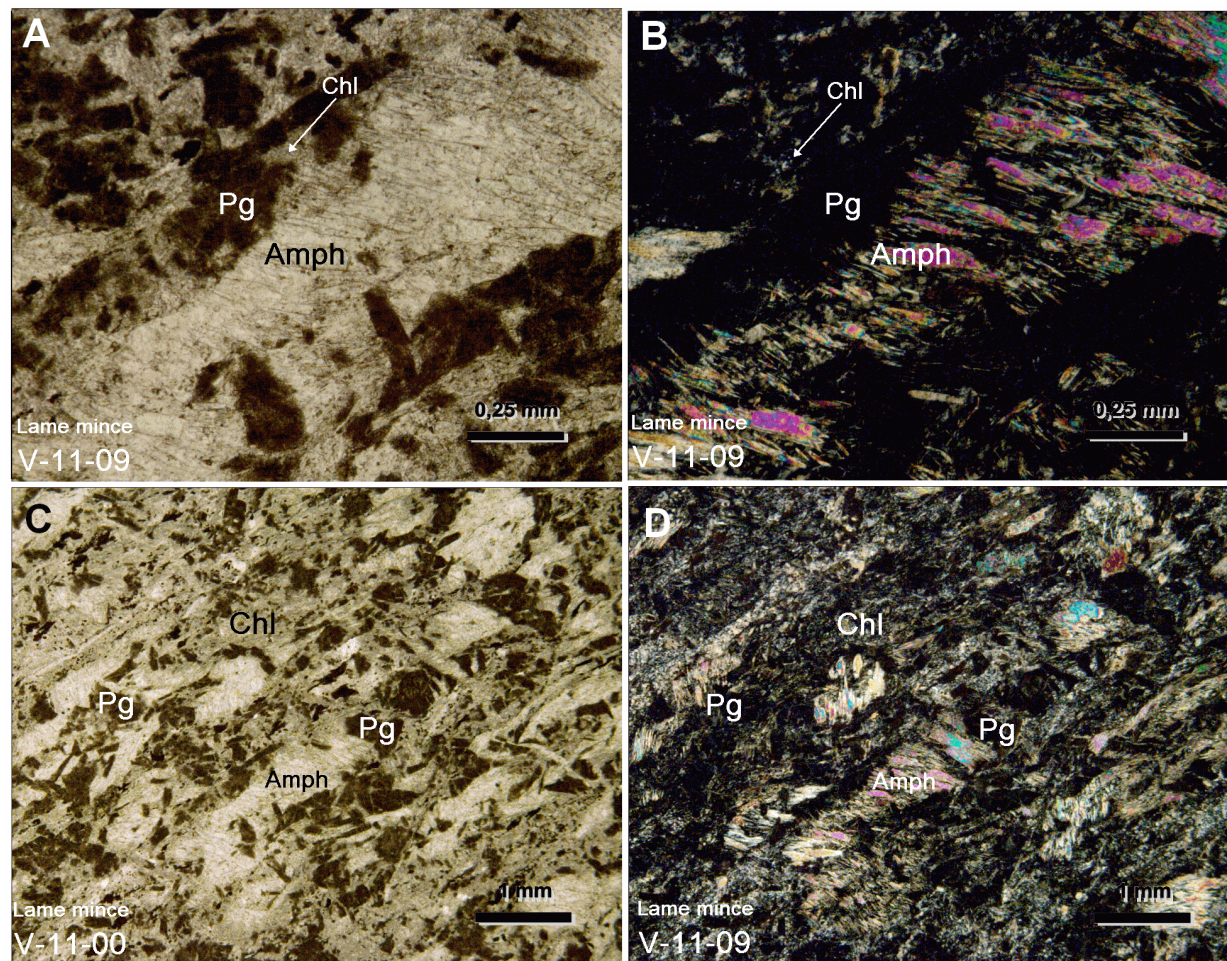


Figure 18 : Photographies microscopiques en lumière transmise naturelle (A et C) et polarisée (B et D) d'un basalte à texture gabbroïque montrant des porphyroblastes d'amphiboles.

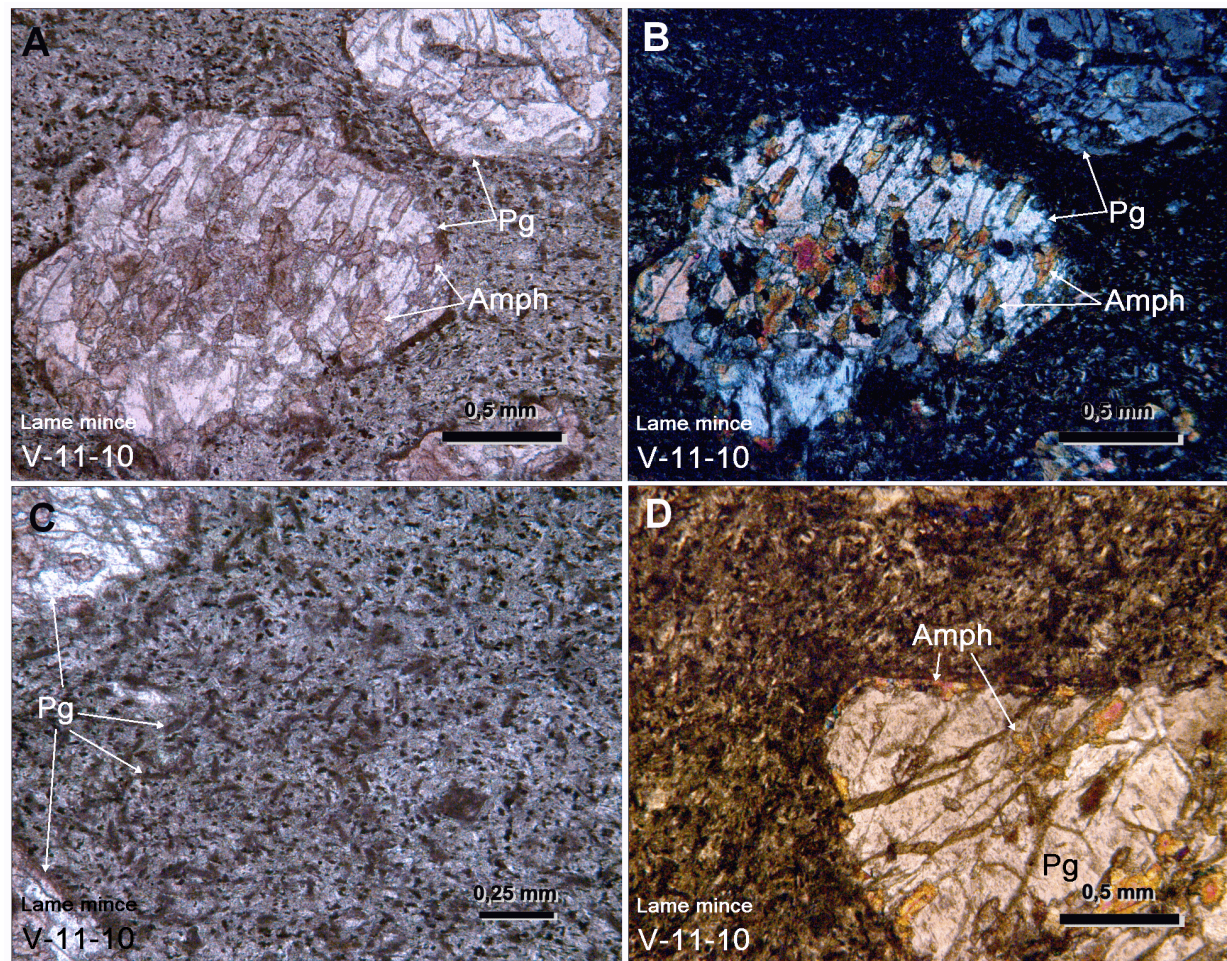


Figure 19 : Photographies microscopiques en lumière transmise naturelle (A et C) et polarisée (B et D) montrant des exemples de basaltes à phénocristaux de plagioclase, prophyroblaste d'amphibole et matrice microporphyrique.

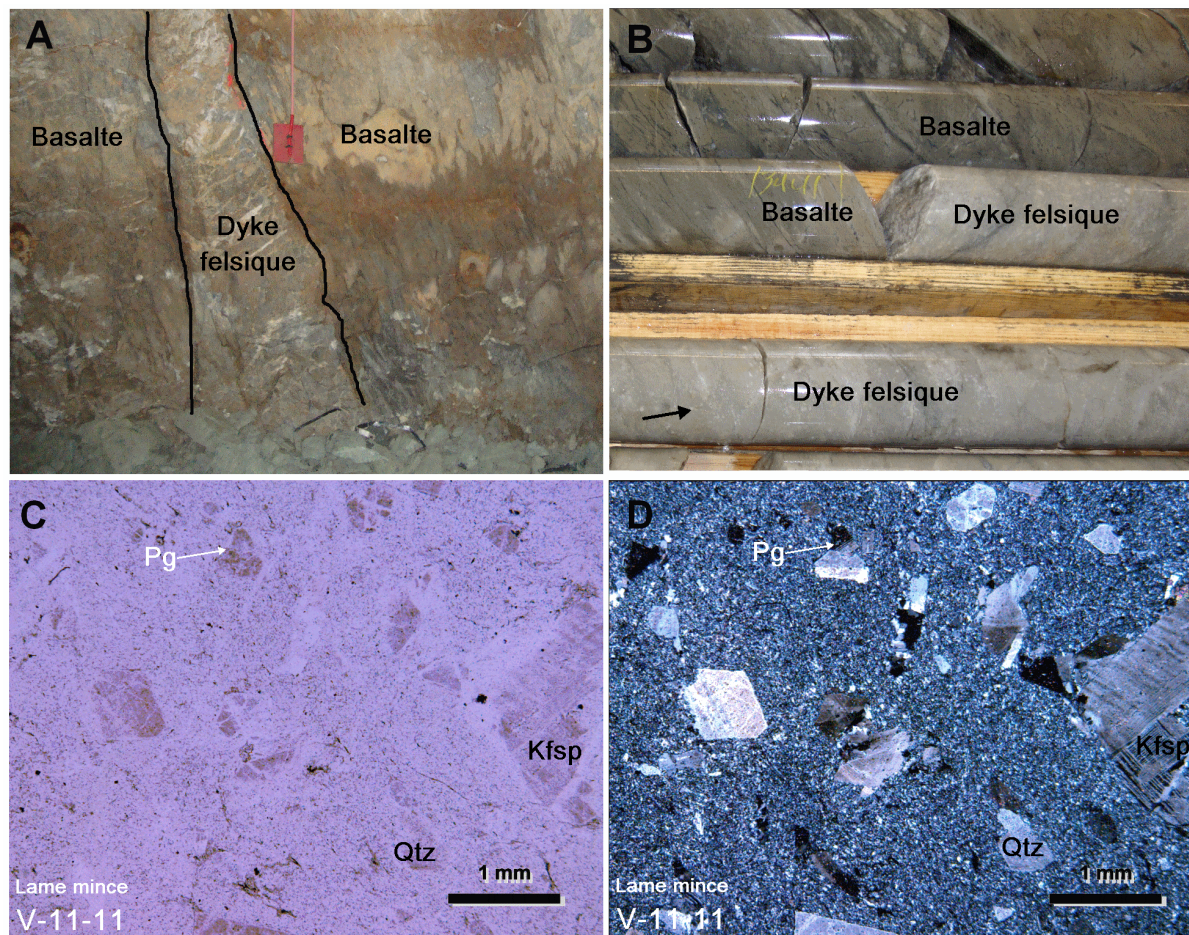


Figure 20: A) Photographie d'un dyke felsique recoupant des basaltes coussinées dans une galerie souterraine ; B) Photographie d'une carotte de forage montrant le contact net d'un dyke felsique avec les laves ; C et D) Photographie microscopique en lumière transmise naturelle (C) et polarisée (D) d'une intrusion felsique montrant les phénocristaux de quartz et de feldspath.

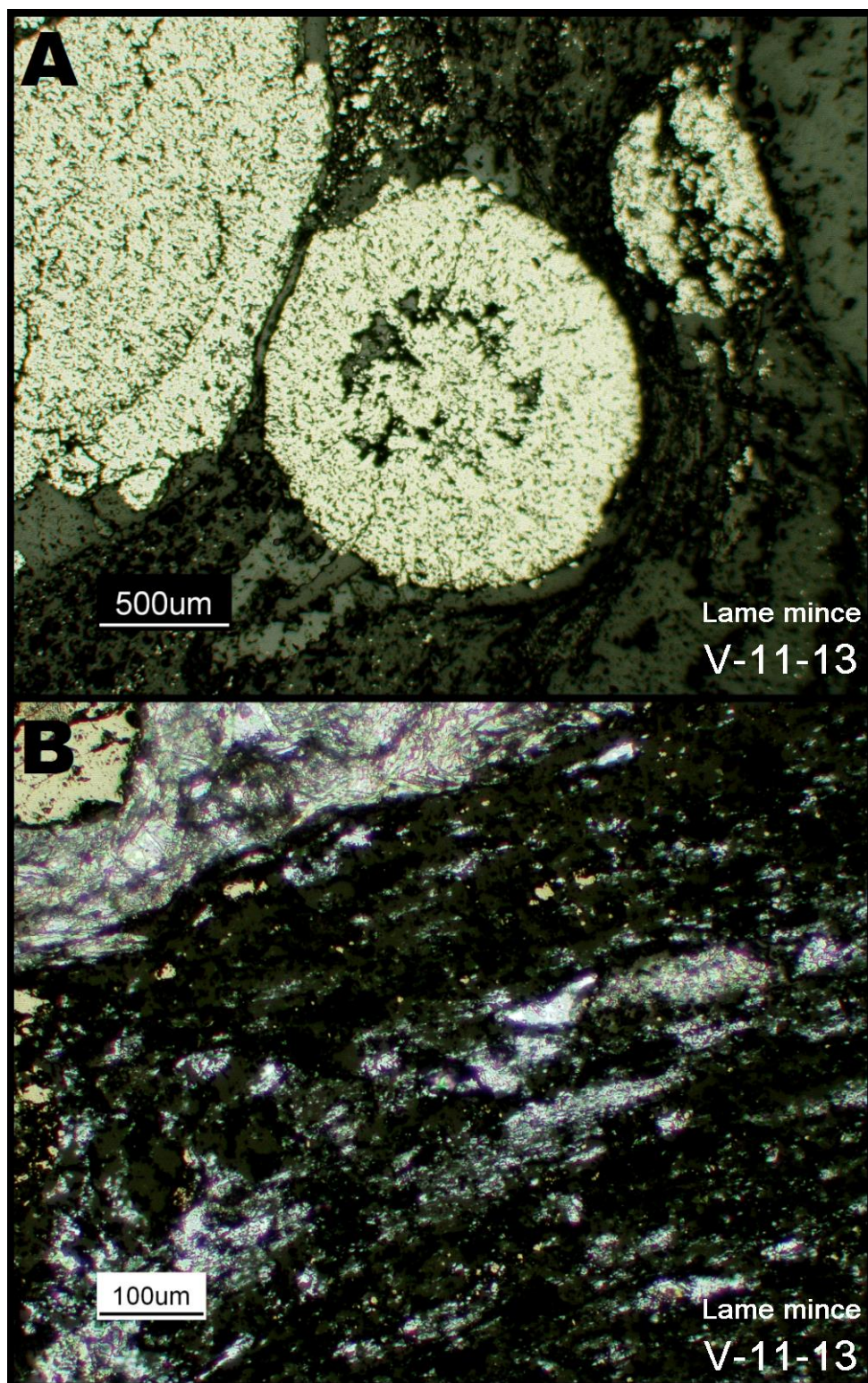


Figure 21 : Photographies microscopiques. A) Photographie en lumière réfléchie de pyrites nodulaires encaissées dans un horizon graphiteux entre des laves au niveau 650 des excavations souterraines ; B) Photographie d'un échantillon provenant de l'horizon d'argilite graphiteuse cartographié à la figure 8.

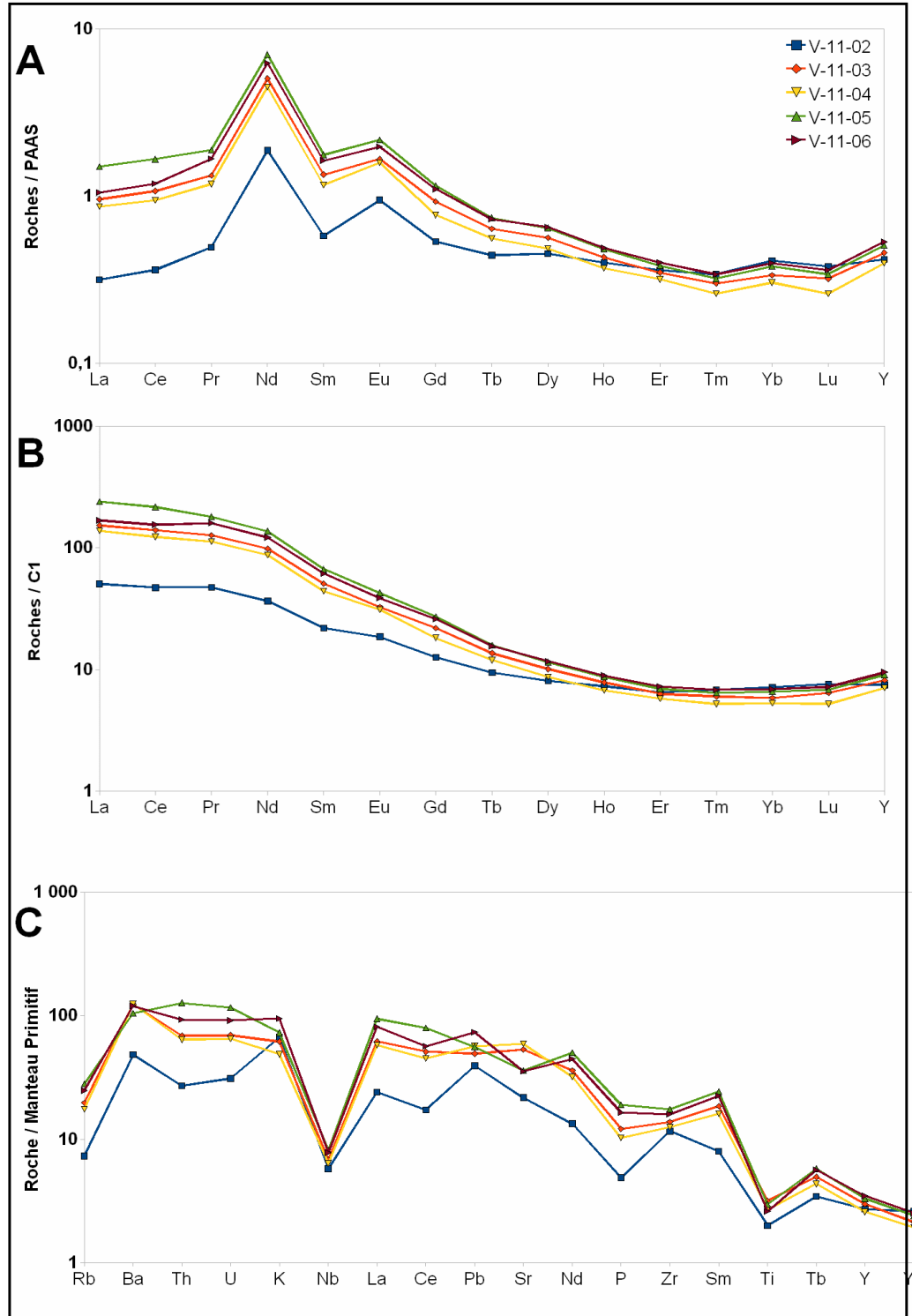


Figure 22 : A) Diagramme des éléments du groupe des terres rares normalisés sur le "Pacific Archean Australian Shale" (PAAS) des roches sédimentaires ; B) Diagramme des éléments du groupe des terres rares normalisés sur la chondrite C1 (Palme et O'Neil 2004) des roches sédimentaires; C) Diagramme des éléments du groupe des terres rares normalisés sur le manteau primitif (McDonough et Sun, 1995) des roches sédimentaires.

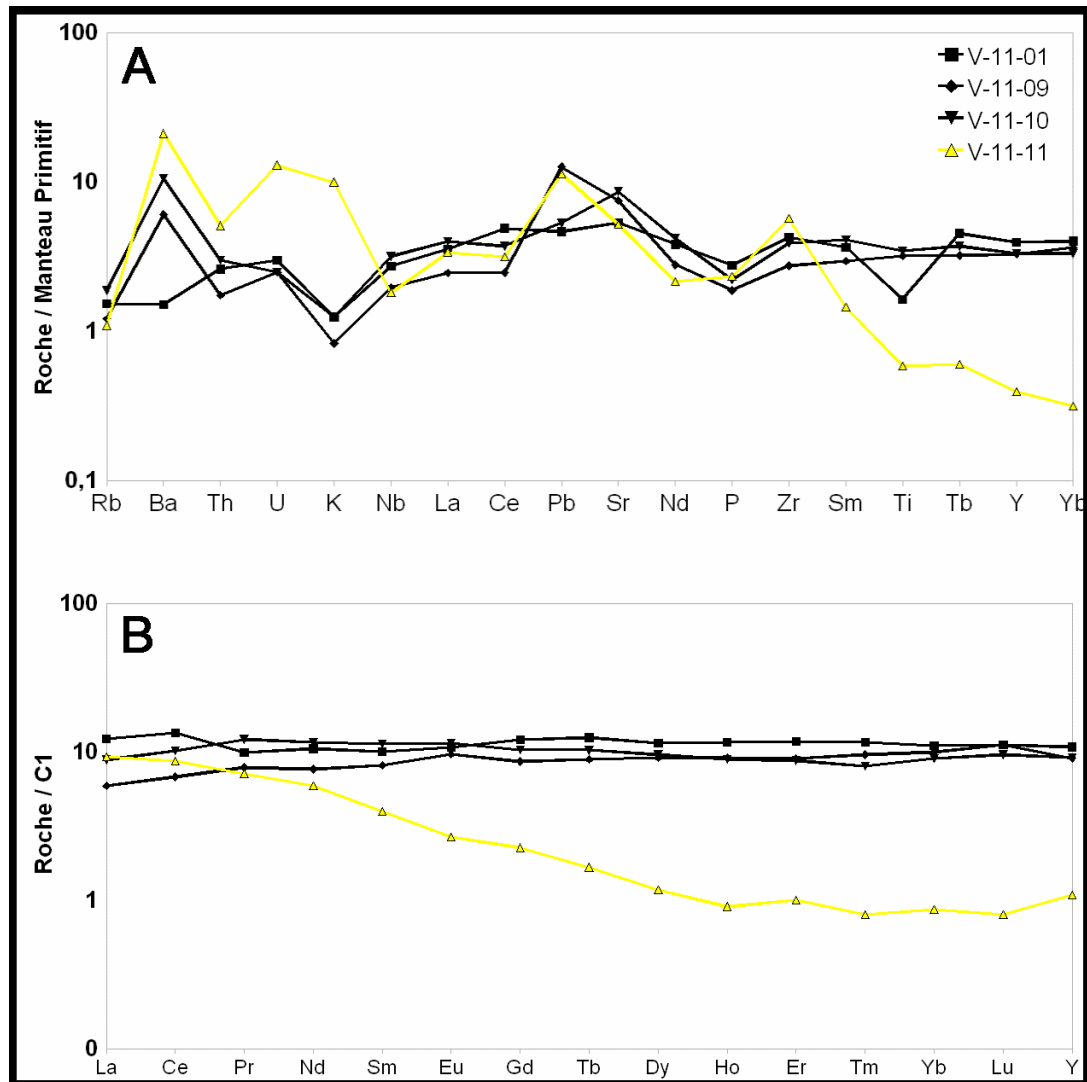


Figure 23 : A) Diagramme multiéléments des échantillons de laves mafiques (en noir) et de l'intrusion felsique (en jaune) normalisés sur le manteau primitif de McDonough et Sun (1995); B) Diagramme des éléments de groupe des terres rares normalisés sur la chondrite C1 (Palme et O'Neil 2004) des échantillons de laves mafiques (en noir) et de l'intrusion felsique (en jaune).

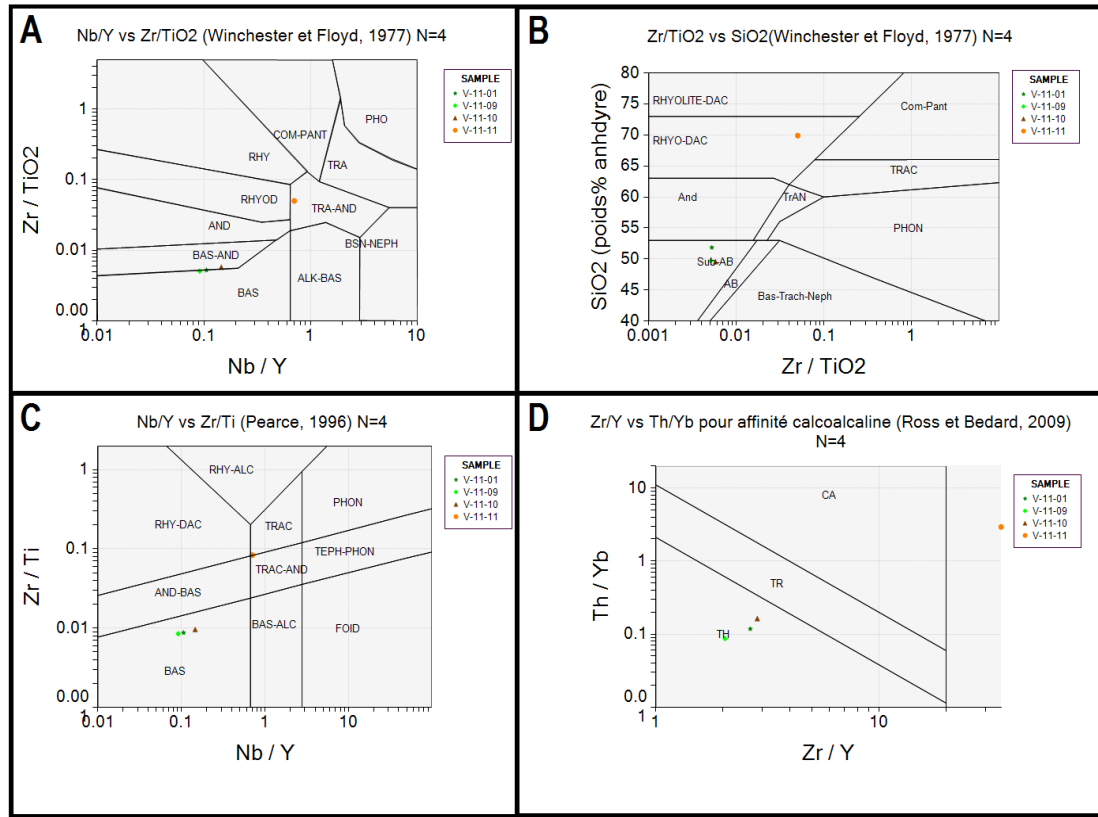


Figure 24 : A et B) Classification des roches volcaniques mafiques et de l'intrusion felsique selon les diagrammes de Winchester et Floyd (1977); C) Classification des roches volcaniques mafiques et de l'intrusion felsique selon le diagramme de Pearce, 1996 ; Classification l'affinité magmatique selon Ross et Bédard (2009) des roches volcaniques mafiques et de l'intrusion felsique.

CHAPITRE 3

Structure et déformation

3.1 Introduction

Ce chapitre présente une étude structurale réalisée dans le but de caractériser la déformation affectant les roches du dépôt Vezza. Au cours de cette analyse structurale, trois éléments ont été observés et mesurés : 1) la schistosité principale et le litage sédimentaire confondu (S_p) ; 2) le clivage de crénulation (S_{p+1}) ; et 3) la linéation d'étirement (L_e). Ces mesures structurales ont été en partie prises le long de la rivière Allard, à un peu plus d'un kilomètre à l'ouest du puits de la mine, où se situe une série d'affleurements (figure 25). Bien qu'ils ne soient pas directement situés sur la minéralisation de Vezza, les affleurements rocheux localisés le long de la rivière Allard offrent une coupe est-ouest à travers les roches sédimentaires et une coupe nord-sud partant des roches sédimentaires jusqu'au contact avec les roches volcaniques (figure 25). Enfin, il faut souligner que les affleurements se situent au sud du contact favorable de Vezza, dans l'extension ouest du toit de la minéralisation (figure 25). Les mesures structurales ont été recueillies aux niveaux 100, 300, 450 et 650 des exploitations souterraines de la mine, à l'intérieur et en périphérie de la zone minéralisée.

3.2 La schistosité principale (S_p)

Les lithologies sédimentaires qui encaissent en majeure partie le minerai du dépôt Vezza montrent du litage. Ce litage se traduit par l'alternance de roches sédimentaires détritiques/chimiques à granulométrie/composition différentes aussi bien microscopiquement (figure 26A-B) que mésoscopiquement (figure 26C-D). Ce litage sédimentaire est parallèle à la schistosité principale et est interprété dans cette étude comme représentant la première déformation D1. Un total de 52 mesures de litages et de schistosité principale S_p a été récolté sur les affleurements de surface et dans les chantiers souterrains. Le plan moyen déduit de S_p est donc de $108^\circ\text{N} / 76^\circ$ pour les affleurements de surface et de $095^\circ\text{N} / 69^\circ$ pour les mesures prises dans la mine (figure 27). Il est à noter que les observations de la schistosité principale et du litage sédimentaire dans les excavations souterraines

sont limitées, étant donné que les galeries souterraines sont en grande majorité distribuées dans les roches volcaniques, où le litage est rarement observable et la schistosité moins développée.

3.3 Clivage de crénulation (S_{p+1})

Dans les exploitations souterraines ainsi que sur la zone d'affleurements, étudiée un clivage de crénulation (S_{p+1}) recoupant la schistosité principale (S_p) a été observé. Ce clivage se traduit microscopiquement (figure 28A-B) et macroscopiquement (figure 28C) par des alignements de minéraux comme la chlorite, la séricite et l'épidote recoupant le litage et la schistosité principale et le litage. Les mesures de ce clivage en affleurements de surface ($n = 41$) et dans les exploitations souterraines de la mine ($n = 151$) sont présentées aux figures 29 et 30. Le plan moyen déduit de S_{p+1} est alors entre 076 et 085°N avec un pendage de 76° pour les exploitations souterraines et de 081°N avec un pendage à 83° en affleurements de surface.

3.4 La linéation d'étirement (L_e)

Les linéations d'étirement s'observent par l'allongement et l'alignement préférentiels : 1) de minéraux d'altération comme la chlorite et la séricite sur les plans de schistosité (figure 31A) ; 2) de fragments de roches conglomératiques ; 3) d'amygdules dans les roches volcaniques (figure 31B). La densité maximale des mesures de linéation d'étirement obtenue en surface ($n=9$) et souterrain ($n=21$) est identique et correspond à $140/74$ (figure 32). Cette linéation d'étirement est interprétée, tout comme la schistosité principale, comme correspondant à l'empreinte de la première et principale déformation D1.

3.5 Indicateurs de cisaillement

Dans les exploitations souterraines du dépôt Veza ainsi que sur les affleurements, de nombreux indicateurs de cisaillement ont été observés. Au plafond des galeries et sur des affleurements (vue en plan), des indicateurs de types sigma, delta et dominos sont observés. Cependant, souvent sur la même

surface, certains indiquent un mouvement en coulissage dextre tandis que d'autres indiquent un coulissage senestre. Ceci s'explique par les linéations d'étirement abruptes qui impliquent une composante pendage et non directionnelle. De la même manière, sur les murs des galeries et les flancs d'affleurement (vue en section) de multiples indicateurs de cisaillement sont observables montrant des sens de mouvements normaux ou inverses (en faisant attention au plan d'observation).

Les quelques observations de plis qui ont pu être réalisées lors de cette étude ont été retrouvées dans des formations de fer. Ces plis d'ordre centimétrique à décimétrique ne sont d'aucune utilité pour déterminer les sens de mouvement car ils peuvent être un héritage sédimentaire (ex: slump fold). Enfin, sur les affleurements de surface ainsi que dans les galeries souterraines, aucun pli n'a été observé outre ceux qui affectent les veines et veinules de quartz. Cependant, les molaires observées dans les basaltes (figures 17) impliquent la possibilité de plis parasites qui n'ont pas été identifiés. Cette observation implique aussi la possibilité que le S_0 des basaltes ne soit pas parallèle à la zone de contact entre les roches sédimentaires et les roches volcaniques, donnant un argument de plus en faveur que ce contact est une faille.

Le pendage vers le sud à 70° et l'orientation parallèle à trajectoire du D1 du contact entre les roches sédimentaires et les roches volcaniques ou encore de la faille de Vezza, permet de déduire, par interprétation de la géométrie, que la schistosité principale (S_p) donne un mouvement inverse et que le clivage de crénulation (S_{p+1}) correspond à un mouvement dextre. Ces relations géométriques sont imagées en plan à la figure 33, où les lignes pointillées noires sont parallèles au contact entre les roches volcaniques et les roches sédimentaires et représentent la schistosité principale (S_p). Les lignes pointillées rouges représentent alors le clivage de crénulation (S_{p+1}).

3.6) Linéation d'intersection (L_{int})

Comme le montre graphiquement la figure 33 ou encore le représente en stéréonet la figure 34, l'intersection des mesures de la schistosité principale (S_p) et de celles du clivage de crénulation (S_{p+1}) définit la linéation d'intersection (L_{int}). Celle-ci est similaire à la linéation d'étirement (L_e). Cette

colinéarité entre L_{int} et L_{ϵ} est un facteur supplémentaire qui ajoute à l'anisotropie des roches et donc à leur perméabilité hydrothermale dans cet axe, soit selon la linéation d'étirement (L_{ϵ}).

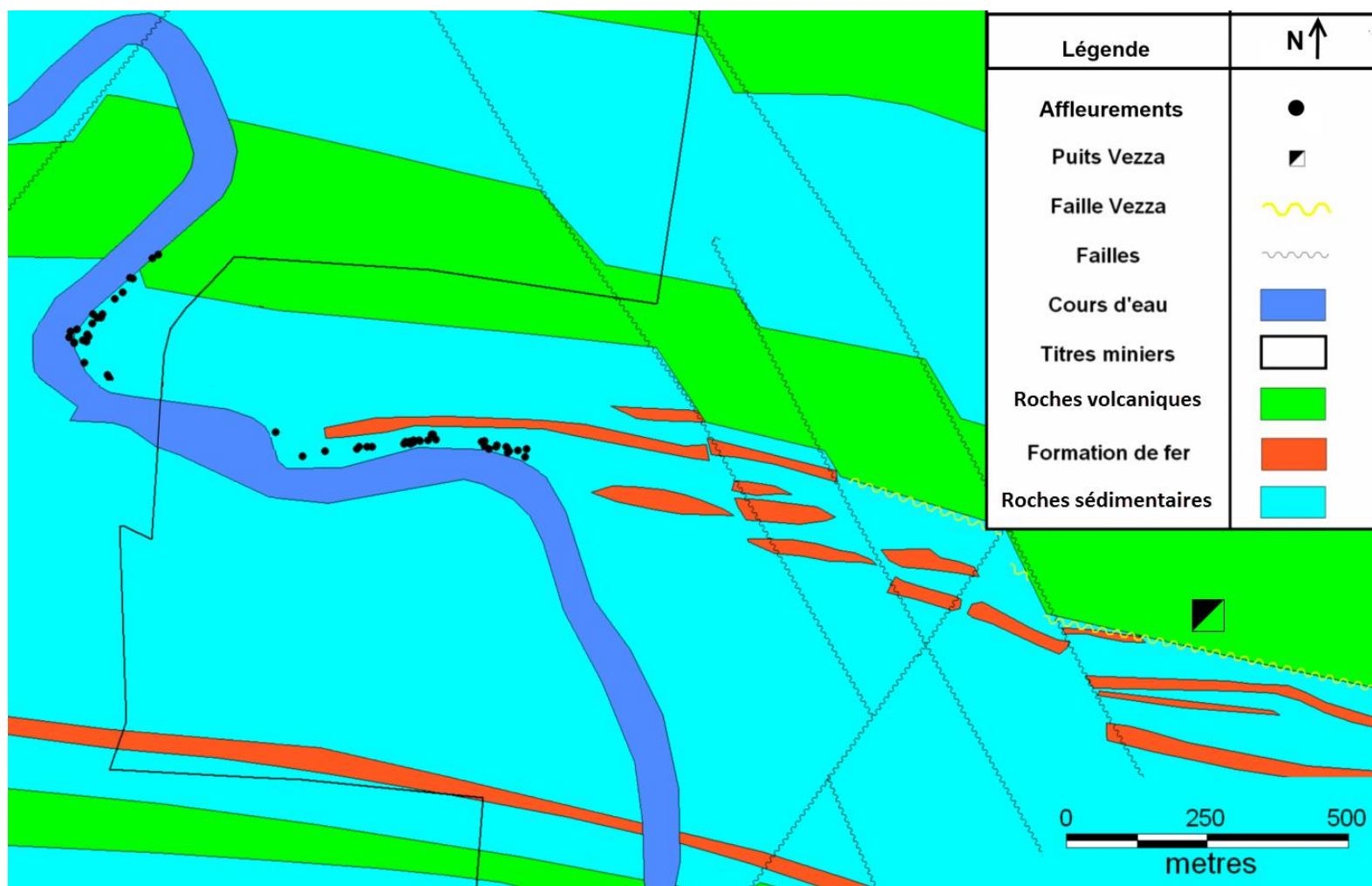


Figure 25 : Localisation des affleurements le long de la rivière Allard.

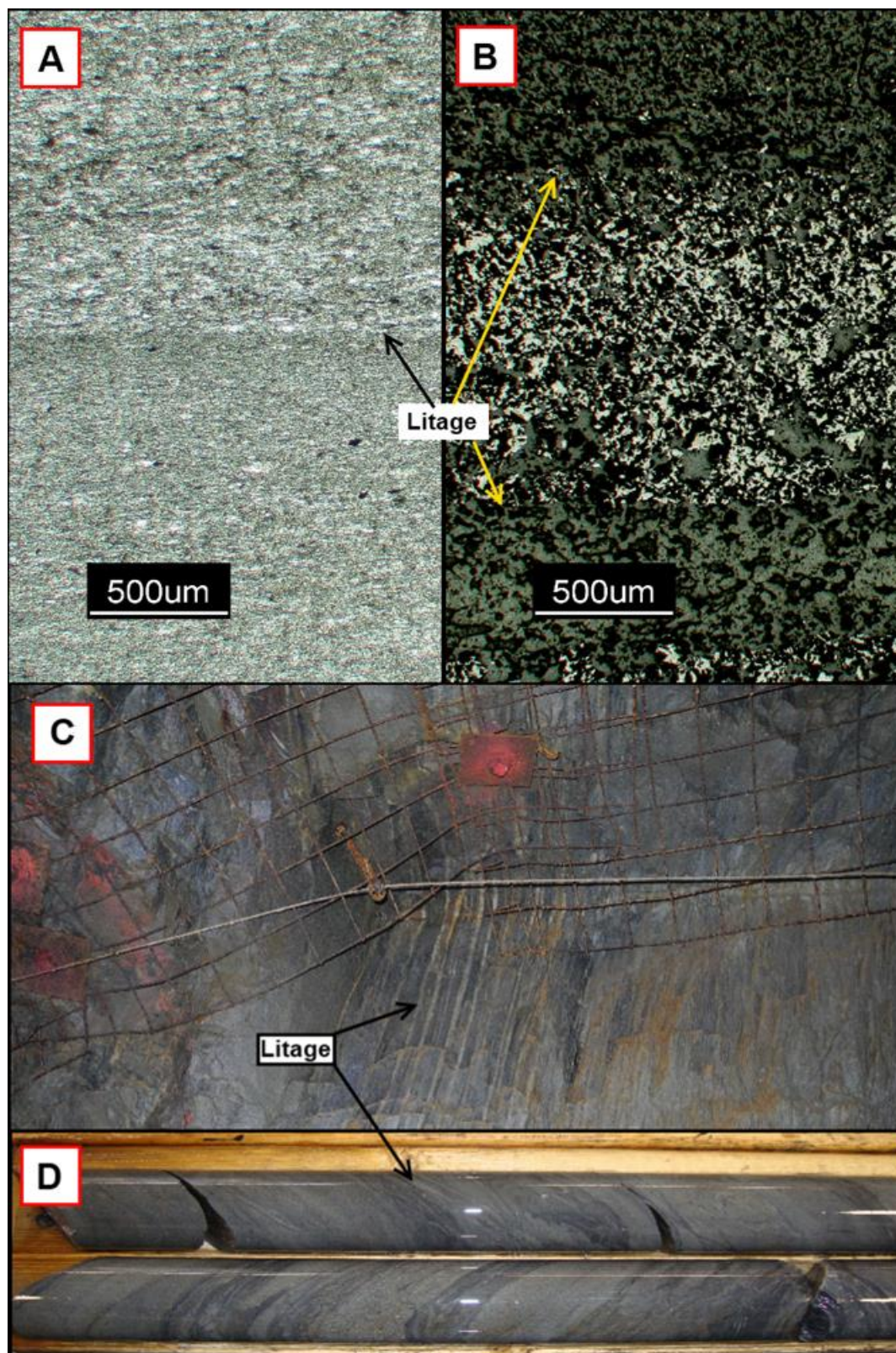


Figure 26 : Schistosité principale et litage primaire en lames minces, sous terre et en carottes de forages.

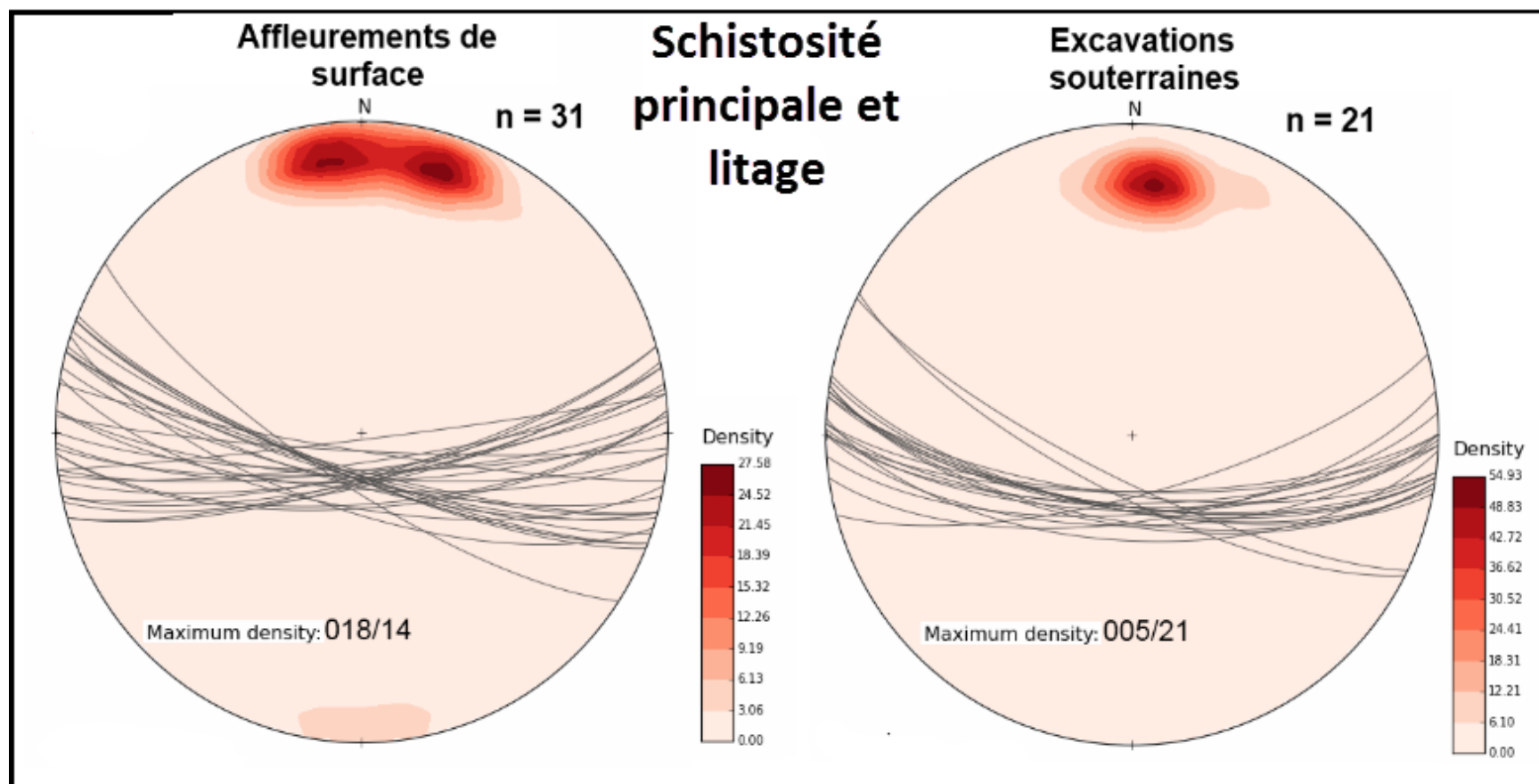


Figure 27 : Stéréonet de Wulf montrant la distribution des mesures prises en surface et sous terre de la schistosité principale et du litage primaire des roches sédimentaires.

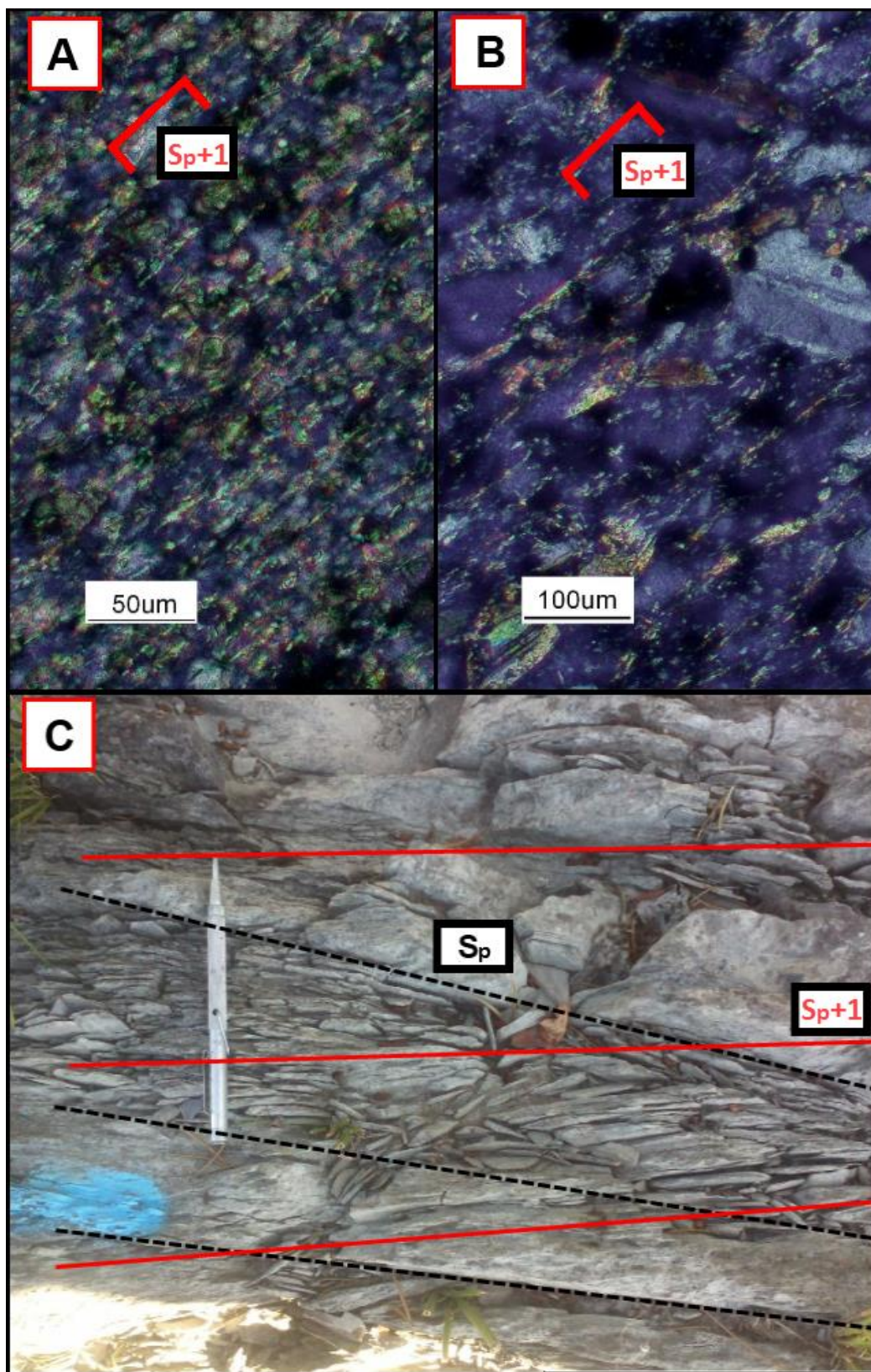


Figure 28 : Clivage de crénulation S_{p+1} en lames minces (A-B) et en affleurement de surface (C).

Clivage de crénulation

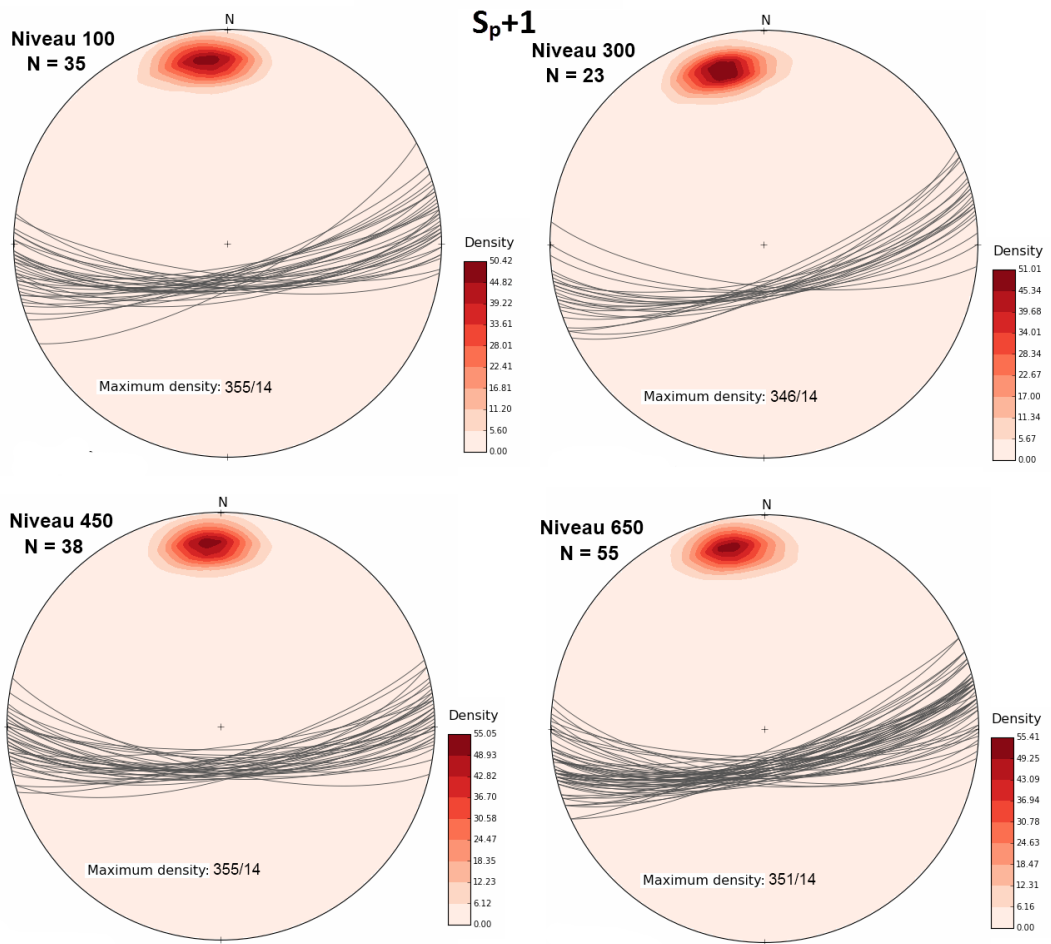


Figure 29 : Mesures du clivage de crénulation S_p+1 prises sur quatre niveaux différents des exploitations souterraines.

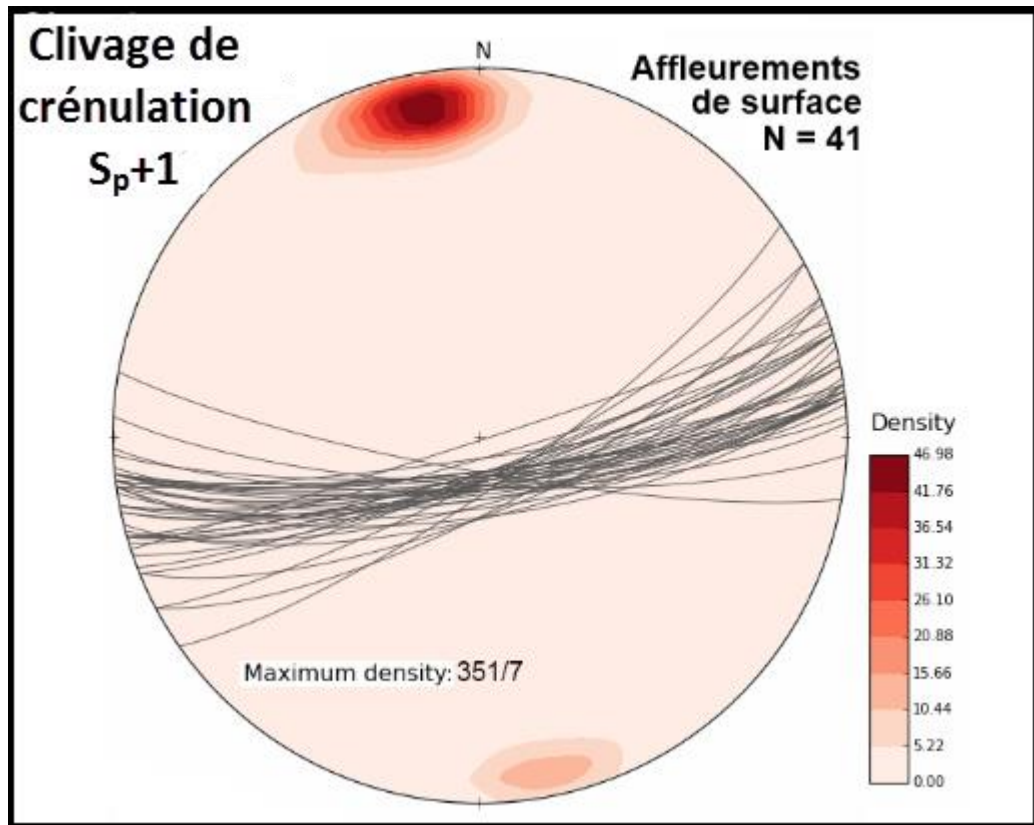


Figure 30 : Mesures du clivage de crénulation S_p+1 prises en affleurements de surface.

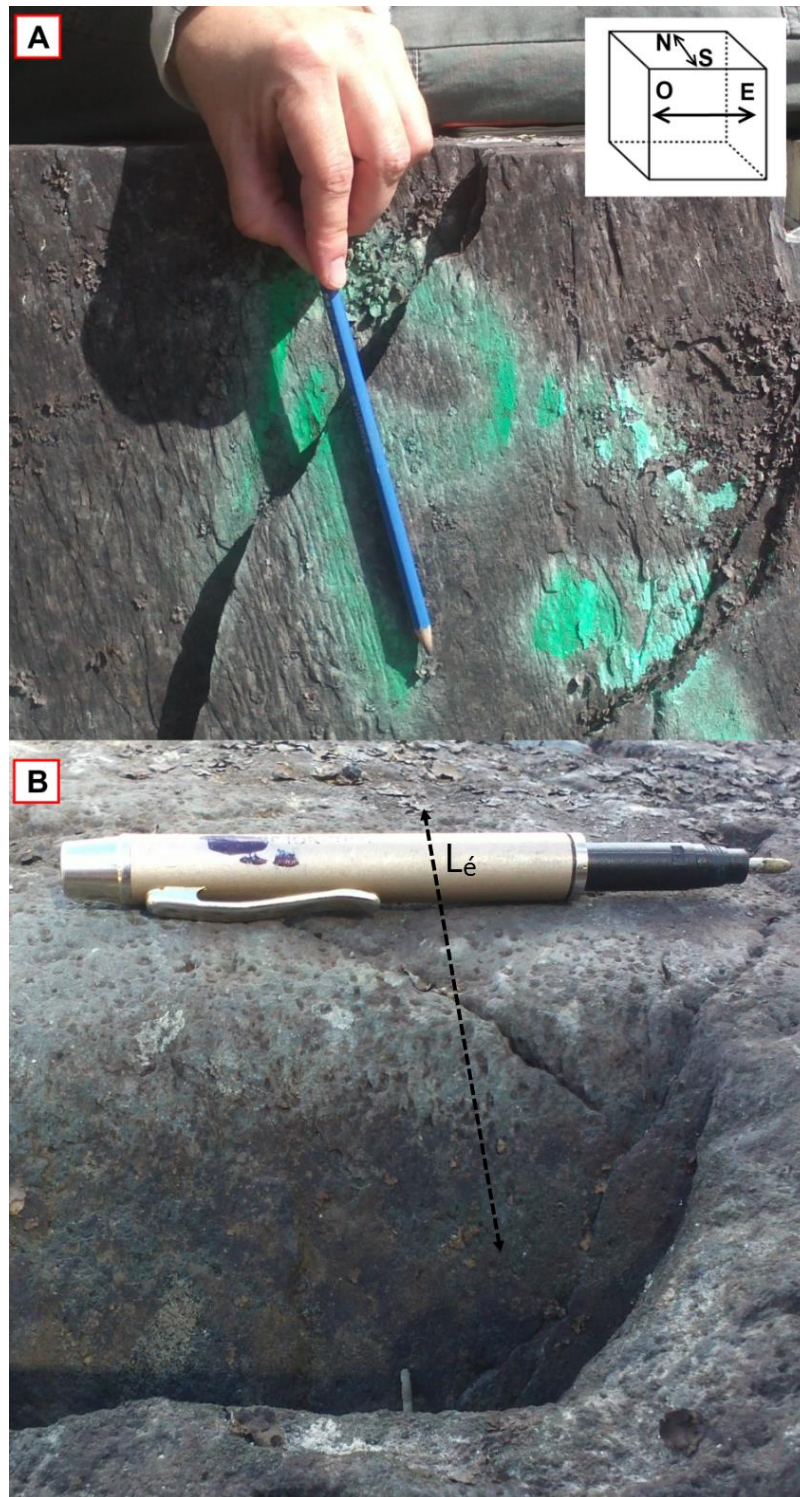


Figure 31 : Linéation d'étirement à forte plongée sur les plans de schistosité dans les roches sédimentaires et dans les amygdules des basaltes.

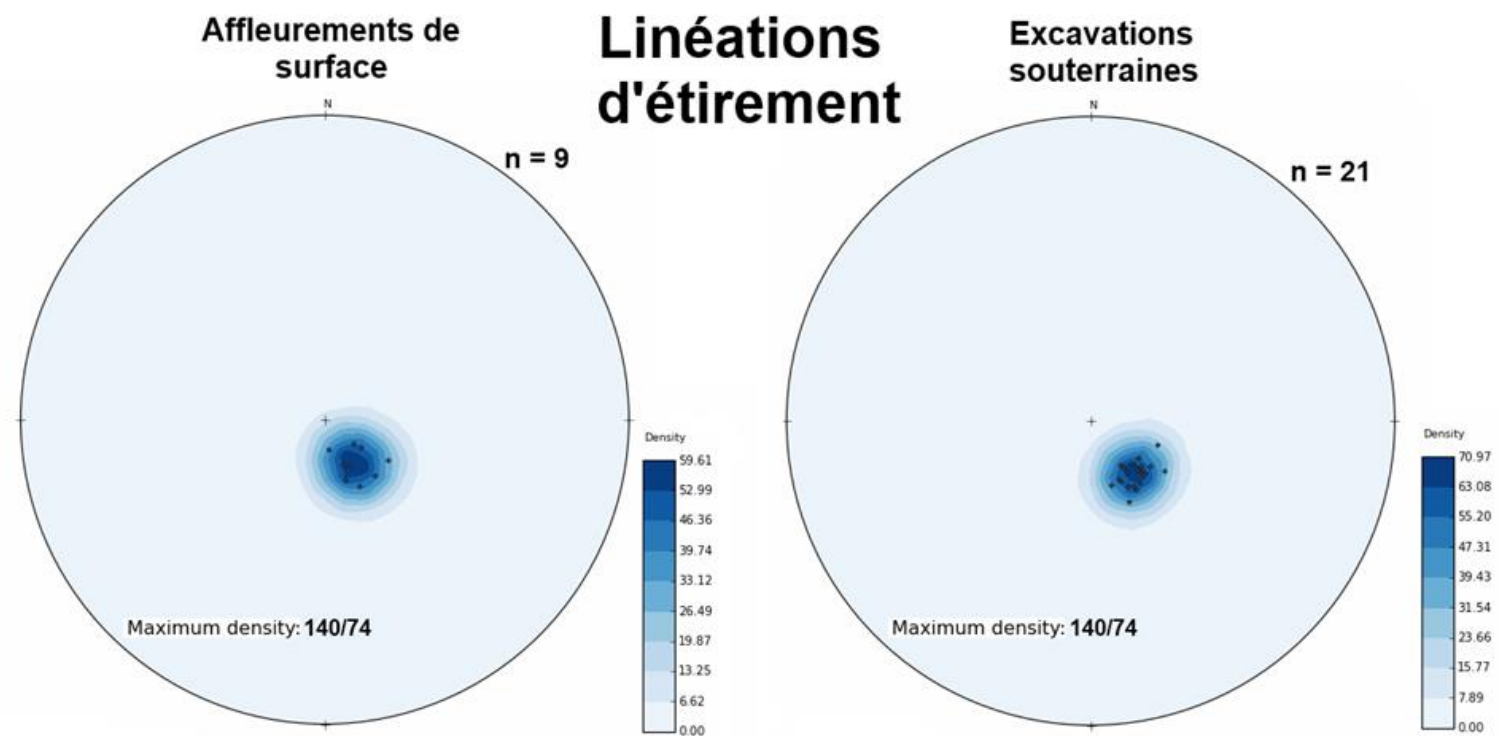


Figure 32 : Stéréonet de Wulff montrant la distribution des mesures de linéations d'étirement souterraine et en surface.

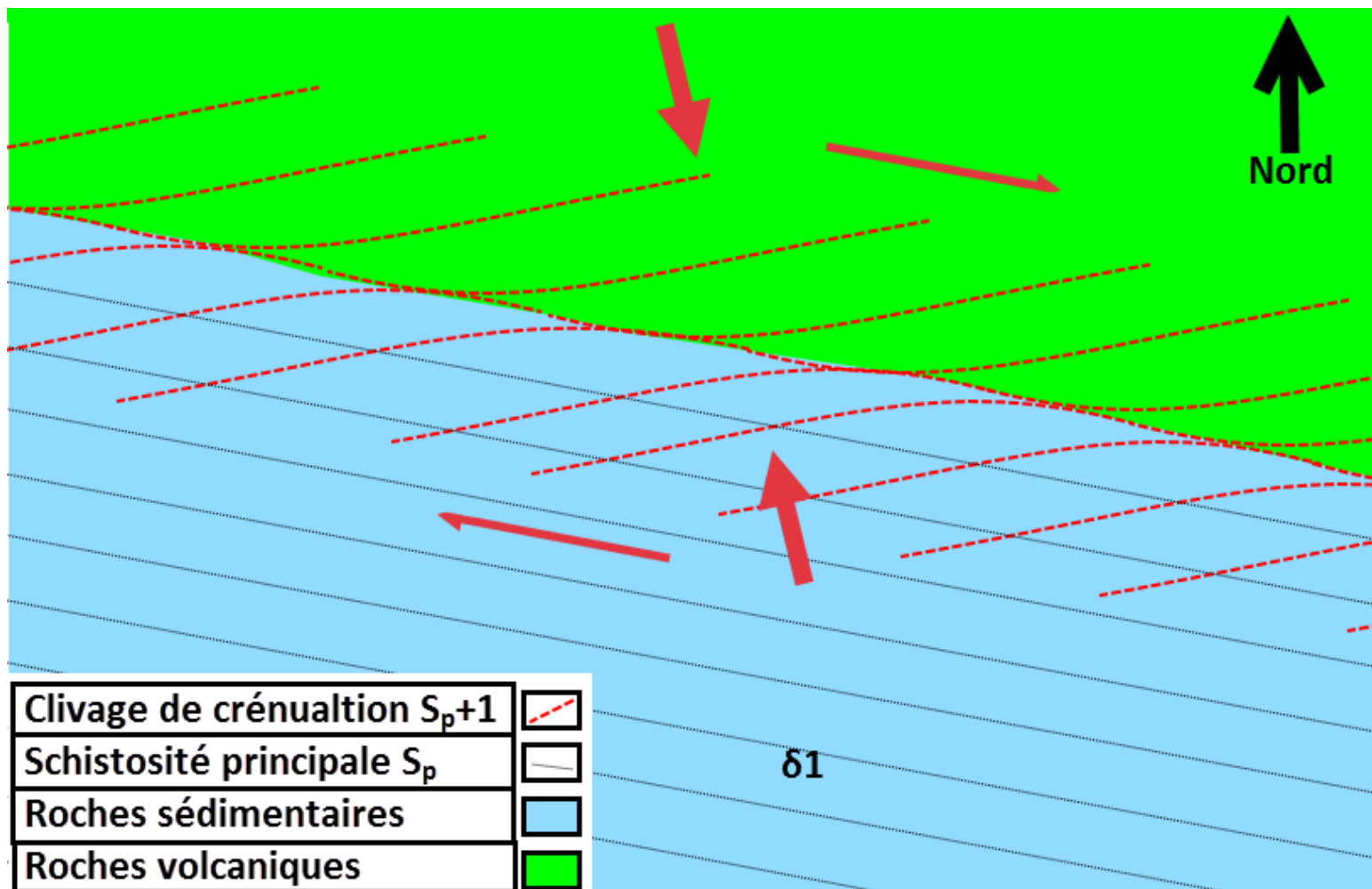


Figure 33 : Carte schématique en plan de la relation géométrique entre S_p , S_{p+1} et la faille de Veza.

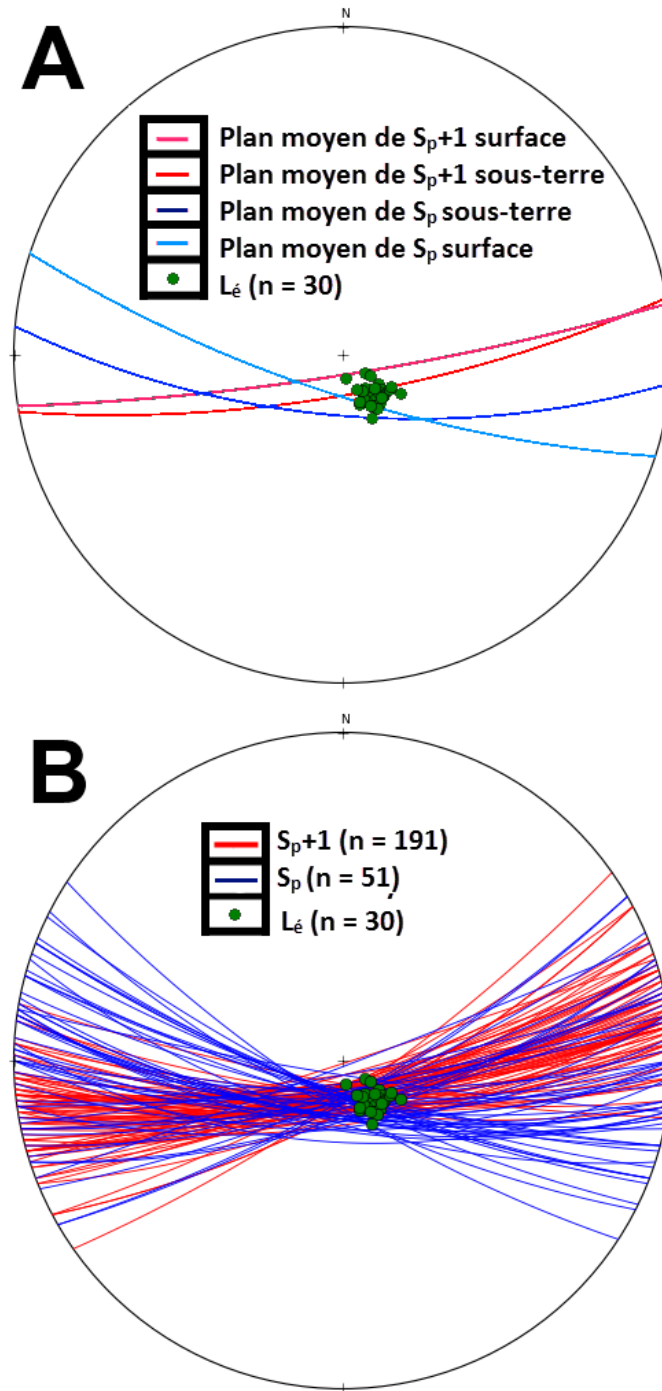


Figure 34 : Colinéarité entre les linéations d'étirement et d'intersection. A) Stéréonet de Wulff montrant le plan moyen des mesures de schistosité principale (S_p), du clivage de crénulation (S_{p+1}) en surface et sous terre ainsi que le total des mesures de linéations d'étirement (L_e) ; B) Stéréonet de Wulff montrant le total des mesures de la schistosité principale (S_p), du clivage de crénulation (S_{p+1}) et de la linéation d'étirement (L_e).

CHAPITRE 4

Altération hydrothermale

4.1 Introduction

Les prochains paragraphes traiteront des altérations hydrothermales identifiables dans les roches encaissantes de la lentille aurifère Vezza. Certaines de ces altérations constituent des composantes majeures de la lentille (silicification, carbonatation), tandis que d'autres sont plus subtiles ou périphériques. La première partie du chapitre introduira la chimie de l'altération hydrothermale par la comparaison d'analyses géochimiques de grauweekes proximaux et de grauweekes distaux à la lentille aurifère. Ensuite les différents minéraux d'altération associés au gisement sont présentés. Finalement leur relation spatiale avec le dépôt sera analysée en portant une attention particulière à la composition des carbonates en fonction de la distance avec la minéralisation.

4.2 Bilan de masse

La minéralisation de Vezza se situe au contact entre deux types de roches différentes. En conséquence, la réalisation d'un bilan de masse à partir d'échantillons aléatoires du minerai n'est pas souhaitable car la différence de composition entre les volcanites et les sédiments pourrait biaiser le résultat. Cependant, les grauweekes encaissent en majeure partie la minéralisation. De plus, des zones aurifères où la roche encaissante est un grauweeke avec des clastes de quartz reconnaissables ont été échantillonnées et analysées. De plus, il faut noter que les grauweekes les plus frais et distaux (à plus de 300 m du dépôt) interceptés en forages sont altérés. En premier lieu, ce bilan de masse a pu être effectué étant donné l'homogénéité de la composition des échantillons stériles sélectionnés, comme le montre les spectres ETR de la figure 22 au chapitre 2 ainsi que le tableau 3. La figure 35 présente le rapport de la moyenne de ces quatre (4) analyses de roches sédimentaires distales à la minéralisation et sans valeur aurifère, comparé à quatre (4) échantillons de grauweekes provenant de la zone contact avec des teneurs aurifères. La ligne bleue a été tracée en prenant comme prémisse que le zirconium, l'aluminium et le titane sont des éléments immobiles et qu'ils se retrouvent en proportions homogènes

dans les échantillons stériles (tableau 3). La ligne rouge représente une pente de 1. À partir de ce diagramme, on peut déduire les gains et pertes de masse en éléments spécifiques. Premièrement, la pente définie par les éléments immobiles (ligne bleue) est plus faible que 1 (figure 35). Cela implique que les grauwackes minéralisés ont subi un gain de masse par rapport aux grauwackes distaux. Cette augmentation de masse semble essentiellement causée par une augmentation de la perte au feu (LOI), par un ajout de silice, de fer et un léger gain en sodium (figure 35). La perte au feu reflète l'ajout de carbonates, de soufre et d'eau. En lames minces, de fortes proportions de carbonates sont observables dans les zones minéralisées. L'augmentation de la perte au feu peut alors être corrélée avec un ajout majeur de carbonates dans le système.

Le bilan de masse fait aussi ressortir la signature métallique du gisement qui se traduit par un enrichissement en Au-As-Ag-Mo-W-Cu (figure 35). Un faible enrichissement en Bi-Cd-Co-Mn est aussi notable sur le bilan de masse (figure 35). Pour ce qui est des pertes d'éléments, le potassium et le phosphore sont les seuls éléments majeurs montrant une perte significative (figure 35). Les grauwackes analysés étaient distaux à la minéralisation, mais l'étude en lames minces a démontré que la séricite se retrouve en proportion non-négligeable (5-20%) dans les grauwackes distaux. Bien que dans la zone minéralisée il y ait encore de fortes proportions de séricites, celles-ci sont diluées dans les carbonates et la silice causant un effet de perte en potassium sur le bilan de masse. Ceci démontre que le halo de séricitisation est large. Le tableau 4 présente un autre fait important qu'est le ratio Au/Ag. Ce ratio, qui est communément supérieur à 5, voire 10 en moyenne pour les gisements classifiés comme orogénique (Groves et al., 2003), est dans le cas présent de 4,43 (n=16).

4.3 Minéralogie des altérations hydrothermales

Cette section décrit la manifestation minéralogique des altérations hydrothermales, en détaillant comment s'impriment les minéraux hydrothermaux dans la lentille aurifère et sa périphérie. Les altérations suivantes sont décrites, en ordre d'importance : 1) silicification ; 2) carbonatation ; 3) séricitisation ; 4) sulfurisation ; 5) albitisation ; 6) chloritisation ; 7) tourmalinisation ; 8) fuchsitisation ;

9) épidotisation ; 10) hématisation ; et 11) la formation des leucoxènes. Il est à noter que, même si ces minéraux d'altérations sont traités individuellement, sont tous issus du même système hydrothermal.

4.3.1 Silicification

Dans le cas du gisement Vezza, les observations macroscopiques faites en carottes de forages ainsi que dans les excavations souterraines et celles microscopiques indiquent premièrement que la silicification affecte toutes les lithologies. Cependant l'ajout de quartz prend un aspect différent en fonction de la lithologie altérée, aspect qui semble majoritairement contrôlé par la rhéologie des lithologies en question.

Dans les unités lithologiques les plus compétentes à la déformation, comme les sédiments riches en pélites, la silicification se fait principalement sous forme de veines et veinules plus ou moins parallèles au litage et à la schistosité (figures 36A, 36B et 37A). En moindre proportion, des veines et veinules recoupant le litage et la schistosité, essentiellement perpendiculaires, sont aussi observables (figure 37D). Ces veines et veinules d'extension peuvent, elles aussi, être plissées ou non.

Dans les roches volcaniques mafiques extrusives qui constituent l'éponte Nord de la minéralisation, la silicification s'observe principalement, comme dans les pélites, sous forme de veines et veinules en cisaillement parallèle à la schistosité. Cependant, en moindre proportion, mais toutefois plus fréquemment que dans les pélites, la silicification se retrouve sous forme de veines et veinules d'extension perpendiculaire à la schistosité. Les veines et veinules peuvent alors être affectées ou non par la déformation. Localement et à proximité des zones économiques, une silicification diffuse et pénétrante est aussi notable dans les roches volcaniques mafiques. L'altération en silice prend alors un aspect de remplacement et se distribue alors en fins cristaux interstitiels aux cristaux des basaltes.

Pour les grauwackes, la silicification est majoritairement distribuée de manière pénétrante et diffuse ou en veinules d'ordre millimétrique et d'aspect bréchique (figures 36A, 37C-D et 38D-E). Ces formes de silicification représentent la majeure partie de la minéralisation économique. L'intensité de l'altération donne localement au minerai un aspect massif (figure 38F) et ce, même si cette roche est

communément litée et imprégnée d'une forte schistosité pénétrante. De manière secondaire, des veines et de veinules de cisaillement et d'extension semblables à celles développées dans les basaltes et les pélites sont aussi observables en proportions variables. La plupart des veines - veinules observées dans les grauweekes sont d'aspect bréchique sans orientation préférentielle, définissant un stockwerck.

Les formations de fer, composées d'horizons de chert, de jaspe et magnétite, sont de dureté élevée et compétentes à la déformation. Elles sont riches en silice et plus facilement fracturables. La silicification s'y retrouve alors sous la forme de fines veinules sans orientation préférentielle et d'aspect bréchique (figures 36C et 37B). Localement, des veines plus imposantes, mais ne dépassant pas l'ordre pluri-décimétrique, sont présentes.

4.3.2 Carbonatation

À l'image de la silicification, la carbonatation se traduit par l'ajout de minéraux, mais cette fois carbonatés. Un fait notable à Vezza, est l'importante proportion de carbonates retrouvée dans le minerai. La carbonatation est observable de manière diffuse et pénétrante dans toutes les lithologies ainsi que comme matériel de remplissage des veinules et veines. Les photographies en lames minces montrent que la carbonatation est associée à la silicification et se retrouve avec le quartz dans les veinules mais aussi dans les zones d'altération pénétrante (figure 38G - I). Les carbonates représentent dans la majeure partie des zones minéralisées, l'altération principale et dominante du dépôt. Ceci est facilement observable en lames minces et est aussi notable macroscopiquement lorsque les carbonates renferment de la calcite réactive à l'acide. Cependant, les autres carbonates, notamment l'ankérite et la sidérite, ne sont pas toujours faciles à identifier et quantifier. Certaines interprétations du minerai Vezza ont eu tendance à sous-estimer la carbonatation pour surestimer la silicification. En lames minces, les zones d'altération pénétrante montrent un fin mélange de cristaux de silice et carbonates, par endroit fortement homogène. Ceci donne un aspect pâle à la roche ainsi qu'une dureté élevée, interprétée comme une forte silicification par plusieurs géologues qui ont travaillé sur le projet.

L'observation de carottes de forages entreposées à l'extérieur et ainsi exposées à l'humidité et à l'oxydation, a permis d'observer que les zones minéralisées ainsi que leurs épontes rouillaient faiblement. Avec le temps, les carbonates contenant du fer s'altèrent donnant ainsi à la roche une teinte orangée. En laboratoire, la méthode de Friedman (1959) a été appliquée sur des carottes de forages récentes et a donné le même résultat que le simple ajout du colorant «Alizarin rouge» soit que la composition des carbonates retrouvées dans les zones minéralisées passe de la sidérite à l'ankérite. L'oxydation observée sur les carottes de forages est concentrique à la minéralisation et avec une intensité décroissante en s'éloignant des zones minéralisées (figure 39 et 40). De manière générale, l'altération en carbonates de fer est proximale à la minéralisation où elle atteint son maximum d'intensité, soit forte et pénétrante. De part et d'autre, l'altération en carbonates de fer s'étend sur plusieurs mètres pour enfin atteindre une zone de transition plus ou moins longue, où les carbonates de fer et la calcite coexistent. Enfin, l'altération en calcite devient progressivement majoritaire et les carbonates de fer disparaissent peu à peu. D'une manière distale, l'altération en calcite s'amenuise progressivement en s'éloignant du gisement jusqu'à devenir équivalente au bruit de fond moyen, soit faible à modérée. Il en ressort une zonalité des carbonates où le faciès des carbonates de fer est proximal à la minéralisation.

4.3.3 Séricitisation

La séricite est une variété de muscovite hydratée de couleur pâle, légèrement jaunâtre à brunâtre et retrouvée en petits cristaux micacés allongés parallèlement à la schistosité tel qu'illustré en carottes de forages à la figure 36A-B et microscopiquement aux figures 38A-B-C. La séricite est un minéral typique retrouvé dans les roches altérées. À la mine Vezza, ce minéral d'altération se retrouve de manière constante dans les grauwackes, les pélites, les basaltes et les intrusions felsiques. Tel que présenté au chapitre 2, ces quatre types de roches sont communs et la séricite est donc un produit d'altération commun. La séricitisation s'observe sous la forme de rubans millimétriques à pluri décimétriques qui alternent avec des rubans moins altérés ou encore avec d'autres types d'altérations

(silicification-carbonatation). La figure 36A présente l'allure typique d'un segment de roche altérée en séricite où le protolithe initial sédimentaire est composé d'alternance d'argilites et de grauwackes. La figure 38A-B-C montre l'aspect en lames minces de la séricite, qui forme des rubans schisteux de largeur variable et de composition pouvant être mono ou polyminéralique ainsi formant des schistes à séricite-épidote-chlorite-carbonates. En lames minces, localement de fins rubans de séricite recoupent les veinules de quartz et carbonates ainsi que les autres minéraux d'altération (figure 38A) alors que dans bien des cas les veinules et veines recoupent les horizons de séricite.

4.3.4 Sulfurisation

La sulfurisation se caractérise par l'ajout de soufre dans une roche et par conséquent, par l'augmentation des proportions des minéraux sulfurés. Dans le cas du gisement Vezza, la sulfurisation est un phénomène qui s'observe particulièrement dans les formations de fer. Le processus de transformation des lits de magnétite massive des formations de fer rubanées en sulfures, notamment en pyrite, mais aussi localement en pyrrhotine et en arsénopyrite, est observable à divers stades de progression (figure 41). Dans le minerai, des évidences de la sulfurisation sont observables par des cristaux de pyrite avec des inclusions poecilitiques de magnétite et de pyrrhotine. Ces reliquats de magnétite dans ces pyrites à texture poecilitique constituent des évidences que la pyrite dans cet échantillon aurifère est issue de la transformation par sulfurisation d'une magnétite. Les veines et veinules qui recoupent les horizons de magnétite massive montrent de larges halos d'altération. À l'inverse, les cherts, qui sont composés de quartz, sont réfractaires à l'altération (figure 41D). Dans les galeries à minerai souterraines ainsi que dans certaines interceptions de forages de la zone contact, des fragments de cherts constituent les seuls reliquats de la présence des sédiments chimiques dans la zone minéralisée.

4.3.5 Albitisation

L'albite est le pôle sodique de la solution solide des plagioclases. Ce minéral d'altération, qui traduit une composition sodique des fluides hydrothermaux, est retrouvé dans de nombreux gisements filoniens comme matériel de remplissage des veines et dans les auréoles d'altération des veines, comme par exemple à la mine Sigma-Lamarque (Poulsen et al., 2000). L'albitisation représente alors le processus de transformation de la composition des plagioclases vers le pôle sodique ou encore la précipitation d'albite comme matériel de remplissage des veines et veinules.

À Vezza, l'albite est commune dans les zones aurifères ainsi que dans les roches altérées à proximité du dépôt. De l'albite s'observe en cristaux tabulaires en équilibre avec le quartz et les carbonates distribués en bordures et dans les veines et veinules (figures 42A). Elle est aussi présente dans les grauwackes, mais cette fois elle s'observe dans les fragments clastiques angulaires à sub-arrondis qui sont partiellement à complètement albitisés (figure 42B). Cette altération indique que les fluides hydrothermaux à Vezza avaient une composition sodique.

4.3.6 Chloritisation

La chlorite est un minéral commun dans les roches encaissant la minéralisation du gisement Vezza. Selon les observations en carottes de forages ainsi que dans les excavations souterraines, l'altération en chlorite est développée dans toutes les lithologies. Cependant, la chlorite se développe préférentiellement dans les pélites et les volcanites mafiques. La figure 43A-C montre la chloritisation dans les roches volcaniques tandis que la figure 43B-C expose cette manifestation dans les pélites. La chloritisation est davantage de couleur verte dans les roches volcaniques tandis que la chlorite noire est observable dans certaines pélites.

Ce minéral hydraté peut être le résultat de divers processus. La chlorite peut se former à partir 1) d'une altération hydrothermale tardive de type orogénique, ou encore 2) d'une altération précoce ou syn-volcanique en lien avec des SMV, ou 3) être relié au métamorphisme régional au faciès des

schistes-verts. La chloritisation peut alors être précoce à tardive, ou être le résultat de la superposition de plusieurs de ces processus.

4.3.7 Tourmalinisation

La tourmaline est un minéral typique des veines et de certains filons aurifères (Robert et al. 1986). Sa composition est complexe et la tourmaline est le principal réceptacle du bore, élément communément abondant dans l'eau de mer. À Vezza, la tourmaline est localement observable dans les veines et veinules comme matériel de remplissage, en équilibre avec les autres minéraux comme le quartz et les carbonates (figure 44). La tourmaline se retrouve aussi sous forme de réseau arborescent de cristaux qui s'injectent dans la roche de la même façon que la silicification et la séricite (altération pénétrante). La plupart des observations de tourmaline sont en lien avec des veinules d'épaisseur centimétrique riches en quartz.

4.3.8 Fuchsitisation

La fuchsite est un mica chromifère reconnaissable par sa couleur vert pomme pâle et son aspect micacé. La composition générale de la fuchsite est $K(Al,Cr)_3Si_3O_{10}(OH)_2$. Ce minéral a comme composant majeur le chrome, élément lui donnant sa couleur distinctive. La fuchsite retrouvée à Vezza est généralement millimétrique à centimétrique, dépassant rarement 3 cm de diamètre. Elle est observée à proximité de la zone minéralisée et exclusivement dans les roches volcaniques. Certains segments de basaltes peuvent contenir jusqu'à 7% de fuchsite. La plupart des observations de fuchsite sont concentrées dans les laves à texture gabbroïque proximales à la minéralisation. Il est à noter qu'aucune analyse n'a été réalisée pour valider un enrichissement en chrome lors de l'observation de cette altération et que l'appellation mica vert serait préférable.

4.3.9 Épidotisation

Ce minéral hydraté a comme composition empirique $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}_{2.25}\text{Al}_{0.75}(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$. Il est le résultat du remplacement des plagioclases lors de l'hydratation des roches mafiques. Il est commun dans les roches mafiques extrusives principalement en halo invasif autour des veines syn-volcaniques et dans le cœur des roches coussinées. Tout comme la chlorite, la formation de l'épidote peut être de syn-volcanique, métamorphique ou reliée à l'épisode hydrothermal aurifère. Cependant, bien que l'épidote soit omniprésente dans les roches volcaniques mafiques de l'éponte nord, aucune augmentation de l'intensité de l'épidotisation n'est observable de manière concentrique à la minéralisation. L'épidote est un produit d'altération hydrothermale mais sans lien fort ou direct avec la minéralisation aurifère de Vezza. Elle est probablement d'origine syn-volcanique étant donnée sa localisation préférentielle au cœur des coussins.

4.3.10 Hématisation

L'hématisation est le processus de transformation de la magnétite ou d'un sulfure de fer (pyrite, pyrrhotine, arsénopyrite) en Fe_2O_3 ou hématite, correspondant à l'état d'oxydation maximal du fer. Ce processus est donc associé à des conditions oxydantes. Les observations d'hématisation en remplacement sur des sulfures ont été majoritairement faites dans les niveaux supérieurs de la mine, notamment au niveau 100, où la plupart des cas ont été aperçus. Les observations d'hématisation à ce niveau sont associées avec des fractures cassantes tardives, montrant de la boue de faille et localement avec la circulation d'eau de surface. Son absence dans la plupart des zones minéralisées et sa localisation concentrée dans les niveaux supérieurs de la mine permettent d'interpréter que l'hématite est tardive, d'origine météorique et sans aucun lien avec l'épisode minéralisateur.

4.3.11 Formation des leucoxènes

Ce minéral est le résultat de l'altération des minéraux ferro-titanifère comme l'ilménite. Les leucoxènes se retrouvent dans les grauwackes et les roches volcaniques mafiques. Généralement, les

leucoxènes sont identifiables macroscopiquement sous la forme de petits cristaux d'ordre millimétrique à pluri-millimétrique, de couleur blanchâtre avec une teinte rosâtre, et avec des bordures de grains caractéristiques qui ressemblent à du papier déchiré. Les leucoxènes sont généralement retrouvés en faible proportion (<5%). Cependant, certains passages d'ordre décimétrique ont montré des concentrations de leucoxènes allant jusqu'à 10% (figure 45).

En prenant en considération que le titane est réputé immobile, la présence de leucoxène implique donc une perte de masse de la roche. Dans les portions sédimentaires du dépôt, ces importantes proportions de leucoxène peuvent aussi être le résultat de concentration primaire en minéraux lourds comme l'ilménite dans certains lits de grauwackes et dans certains basaltes. Selon cette hypothèse de distribution hétérogène primaire, il devient difficile d'établir une relation entre altération et concentration en leucoxène au sud du dépôt. Dans les basaltes, une perte importante d'éléments mobiles peut contribuer à l'augmentation des proportions de titane. Toutefois, les proportions de leucoxènes dans les basaltes ne semblent pas augmenter systématiquement dans la roche à l'approche de la zone minéralisée. Au final le lien entre leucoxène et minéralisation aurifère est difficile à établir.

4.4 Chronologie relative des altérations hydrothermales

L'altération hydrothermale est manifestée par des minéraux spécifiques qui montrent des relations de recoupement entre eux. Ainsi, les quelques veines et veinules retrouvées dans la lentille aurifère et ses épontes sont soit parallèles ou orthogonales à sub-orthogonales à la schistosité. Ces veinules se recoupent entre-elles et certaines sont déformées (plissement, boudinage) alors que d'autres sont intactes. Elles indiquent un certain synchronisme entre l'hydrothermalisme et la déformation régionale. Elles dévoilent ainsi la longue et complexe histoire hydrothermale et structurale du secteur. En lames minces, il est possible d'observer des relations de recoupement entre le quartz et les carbonates dans les veinules. Dans certains cas, les épontes sont constituées de carbonates (figure 37A), dans d'autres cas c'est de l'albite (figure 42) ou encore du quartz qui exprime

un système hydrothermal complexe. Dans certaines lames minces, des rubans de séricite recoupent aussi des veinules de quartz (figures 38A). En somme, les différents minéraux d'altération se recoupent mutuellement et ne permettent pas de déterminer une chronologie absolue.

Finalement, les relations de recoupement entre quartz, carbonates et séricite appuient alors un système où l'hydrothermalisme est contemporain à la déformation et où le système hydrothermal a perduré dans le temps.

4.5 Distribution des altérations hydrothermales

Les prochains paragraphes traitent de la distribution des altérations hydrothermales significatives, à savoir 1) la séricitisation ; 2) la carbonatation ; 3) la silicification; et 4) la fuchsitisation. Il faut souligner que les sections présentées ont été réalisées à partir de compilation des forages, soit à partir des descriptions de forages disponibles. Ces multiples forages et leurs descriptions sont le fruit de plusieurs campagnes réalisées par différents géologues. Il en ressort malgré tout une certaine continuité, mais les différentes personnes ayant décrit ces forages proposent des interprétations qui sont quelquefois divergentes comme le montre la figure 46. De plus, l'intérêt porté à la quantification de certaines altérations hydrothermales a varié avec le temps. Les analyses géochimiques réalisées au chapitre 2 montrent que les roches volcaniques ont une composition basaltique. Cependant, certains géologues ont interprété l'aspect pâle induit par la carbonatation comme étant une lithologie différente en nommant ces laves altérées comme des intrusions de composition intermédiaire. Dans le même ordre d'idées, certains géologues ont interprété la carbonatation des roches basaltiques comme du lessivage tandis que d'autres ont quantifié l'altération en carbonates et la zonalité ankérite-calcite. Ces divergences d'interprétation de la typologie et de la quantification des altérations augmentent l'effet de discontinuité des altérations et sont des informations à prendre en considération lors de l'interprétation des sections présentées dans les prochains paragraphes. Les altérations hydrothermales sont probablement plus continues que les interprétations présentées sur les prochaines figures.

4.5.1 Séricitisation

La distribution de l'altération en séricite constitue la plus large enveloppe associée à la minéralisation aurifère. Elle peut s'étendre, selon la figure 47, jusqu'à une centaine de mètres de la zone minéralisée. La partie sédimentaire au sud est la plus largement affectée par cette altération, mais elle se retrouve aussi localement dans les roches volcaniques au nord, essentiellement dans les intrusions felsiques. L'altération en séricite est cependant discontinue et hétérogène. De manière générale, l'intensité de la séricitisation des roches augmente vers la minéralisation et atteint son apogée aux épontes de la minéralisation. L'observation des trois sections met en évidence que la séricitisation est de plus en plus commune en allant vers l'est. L'augmentation de la séricitisation de l'éponte sud-est du dépôt va de pair avec l'augmentation des valeurs aurifères (figure 46). En somme, la distribution des minéraux hydratés s'accroît en allant vers la minéralisation pour atteindre son apogée aux épontes de la minéralisation aurifère. La séricite est donc spatialement en corrélation avec l'événement aurifère et un indicateur clef à la prospection d'autres dépôts dans le secteur.

4.5.2 Carbonatation

La distribution spatiale de l'altération en carbonate est répandue en périphérie du dépôt Veza. En section, de part et d'autre de la minéralisation, de la carbonatation a été notée à plus de 75 m de la zone contact aurifère (figure 48). Tel que mentionné précédemment, les carottes de forages ayant été exposées à la météorisation ont révélé une zonalité des carbonates. L'altération se traduit par des carbonates de fer à proximité du dépôt et, de manière progressive en s'éloignant du dépôt, elle évolue en calcite. Les deux exemples précédemment mentionnés (figures 39 et 40) sont des forages avec un angle de recoupement similaire et réalisés à partir des galeries. Ils représentent donc bien l'altération en carbonate et sa zonalité. On peut y observer une première partie avec une intense altération en carbonates de fer. Cette zone est quasi à totalement dépourvue de calcite. Cette première zone, proximale à la minéralisation, varie entre 18 m (figure 39) et 37 m (figure 40) d'épaisseur (longueur

carotte). Par la suite, il y a une zone de transition où les carbonates de fer et la calcite coexistent. Cette zone intermédiaire varie entre 4 et 31 m pour des deux exemples présentés. Selon les observations faites au cours de cette étude, cette zone de transition peut être large et se répéter à de multiples reprises dans certains cas tandis que pour d'autres forages, elle est relativement nette. Par la suite, les carbonates de fer disparaissent et la calcite devient le carbonate dominant. La zonalité des carbonates dans les sédiments n'est pas aussi bien définie qu'au nord dans les basaltes. Tout comme dans la partie nord, les sédiments proximaux à la minéralisation contiennent des proportions importantes de carbonates de fer et des traces locales de calcite. Par la suite, l'altération en carbonates de fer diminue et la calcite devient de plus en plus commune. Cependant, il n'y a pas de limite où la calcite devient le carbonate dominant comme dans la partie volcanique. Il est possible que la présence des formations de fer et donc d'oxyde de fer pouvant être mis en solution dans les fluides ait influencé la composition des fluides et limité l'effet de zonalité des carbonates de fer dans la partie sud. Une explication alternative est que la zonalité observée dans les roches volcaniques au nord soit simplement due à la présence de ces sédiments riches en fer au sud.

En somme, la carbonatation est une altération générant un gain de masse de la roche et elle se distribue largement autour de la lentille principale. L'intensité de cette altération s'accroît progressivement en approchant de la lentille. De plus, la présence d'une zonalité avec des carbonates de fer proximaux à la minéralisation et de la calcite distale fait des carbonates un vecteur d'exploration important.

4.5.3 Silicification

La silicification, tel que mentionné précédemment, est reliée aux zones les plus perméables, tant lithologique que structurale. Sur les trois sections présentées à la figure 49, la silicification atteint son apogée à la zone du contact minéralisé. Elle montre souvent une augmentation progressive en allant vers la minéralisation et les zones qui ont été cataloguées comme fortement silicifiées sont pour la plupart effectivement porteuses d'or. La silicification est l'altération qui est la plus directement

limitée à proximité de la minéralisation aurifère. Cependant, il faut noter que certaines zones silicifiées à proximité de la lentille sont stériles. Ceci implique donc que la silicification n'explique pas à elle seule l'histoire aurifère.

4.5.4 Fuchsitisation

La distribution de la fuchsitisation (figure 50) est, tel que mentionné précédemment, exclusive aux roches volcaniques mafiques. L'étendue de la fuchsitisation se limite au maximum à une vingtaine de mètres au nord de la lentille aurifère. La section 16700 est absente de la figure 50 étant donné qu'aucune fuchsite n'a été observée dans les forages de cette section. En conclusion, la distribution permet de classer ce minéral comme étant lié à l'altération proximale, mais exclusivement dans les roches volcaniques.

4.6 Synthèse

L'observation et la distribution des différents minéraux d'altération retrouvés à proximité de la lentille Veza ont permis de mettre en évidence les minéraux d'altérations qui sont directement en lien avec la minéralisation de ceux moins discriminants. L'épidote et la chlorite sont des minéraux hydratés qui peuvent être en relation avec la minéralisation aurifère. Ces mêmes minéraux peuvent aussi se former lors du métamorphisme régional aux schistes verts ou encore être syn-volcaniques et précoces. Pour les leucoxènes, leur distribution primaire est hétérogène dans les roches volcaniques ainsi que dans les roches sédimentaires. Bien qu'ils se retrouvent dans les épontes et dans la minéralisation, ils ne sont pas utiles comme outil d'exploration des zones aurifères. Pour l'hématite, les quelques observations ont été faites dans de petites failles tardives situées préférentiellement dans les niveaux supérieurs du dépôt. La circulation des eaux de surface et l'oxydation des sulfures du minerai et des encaissants est probablement la cause de la présence de cette hématite.

Les minéraux d'altérations qui ont la meilleure corrélation avec la minéralisation sont la silicification, la séricitisation, la fuchsitisation, l'albitisation, la sulfurisation et la carbonatation avec la

zonalité proximale en carbonates de fer. La figure 51 synthétise les observations de la distribution de ces altérations déterminées au cours de cette étude. Ces altérations ont montré une distribution en section qui corrèle avec la minéralisation aurifère. De plus, les observations microscopiques indiquent que les minéraux de ces altérations sont présents dans les zones aurifères. Ces altérations affectent la partie sédimentaire et la partie volcanique (figures 46 à 50). La fuchsite est l'exception car elle est développée exclusivement dans les roches volcaniques. La paragenèse des minéraux d'altération à Vezza est alors semblable à celle décrite dans la littérature pour les gisements aurifères filoniens. Cependant, la distribution de la silicification et de la carbonatation de manière diffuse et invasive dans la roche et les faibles proportions de veines et veinules constituent des caractéristiques atypiques. En somme, le minerai est l'équivalent d'une veine mais dont les constituants sont finement distribués dans la roche. En outre, les altérations du dépôt Vezza sont typiques d'un gisement aurifère orogénique, cependant les fluides ne semblent pas avoir circulé selon un mode d'écoulement irrégulier de type "Fault Valve" (Sibson et al., 1988 ; Byerlee, 1993) à l'origine des veines. La solubilité de la silice étant faible en milieu aqueux (Fournier et Potter, 1982), cela implique que beaucoup de fluides doivent circuler pour que du remplissage par la silice finisse par étanchéifier le système hydrothermal. De plus, étant donné que la tension de surface de l'eau est plus grande que celle d'un gaz, la diffusion de l'eau et donc de la silice en solution est plus restreinte. Au contraire, la tension de surface nécessaire pour faire circuler un gaz est plus faible, la capacité de diffusion dans la roche est donc plus grande que celle d'un fluide aqueux. La carbonatation est donc une altération pouvant s'étendre facilement dans les épontes et la silicification est en conséquence limitée aux zones les plus perméables, en accord avec la littérature (p. ex. Dubé et al., 1987). À Vezza, l'intensité de la carbonatation par rapport à la silicification suggère un milieu sous haute pression où la capacité de percolation des fluides était limitée à la zone perméable. Cette hypothèse est aussi appuyée par le nombre limité de veines d'épaisseur significative et la distribution pénétrante de la silicification et de la carbonatation. La pression de fluide nécessaire pour bréchifier la roche ou dilater des fractures n'a donc pas été atteinte de manière significative (Sibson et al., 1988 ; Byerlee, J. 1993). Le système hydrothermal, même

pressurisé, devait donc permettre un écoulement relativement continu des fluides hydrothermaux au sein de la zone contact. Ces observations et la figure 51 permettent de supposer que la zone contact représente alors une zone de faiblesse et d'ouverture lors des contraintes tectoniques.

Spatialement, il faut retenir les variations d'intensité des altérations hydrothermales vers l'est. En évoluant de plus en plus vers l'est dans les sections présentées précédemment, on peut observer la disparition de la fuchsite dans les roches volcaniques au nord, l'augmentation de la séricitisation dans les roches sédimentaires couplée avec l'apparition de valeurs aurifères erratiques et la diminution des teneurs et épaisseurs aurifères à la zone contact. Ces relations semblent indiquer une perte de focalisation des fluides aurifères le long de la zone contact vers l'est.

Échantillons	Y ppm	Zr ppm	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	LOI %
V-11-02	7,0	122	60,7	14,7	4,7	6,4
V-11-03	12,6	145	61,7	14,8	5,9	1,4
V-11-04	11,1	132	63,7	15,3	4,8	2,4
V-11-06	13,0	167	57,7	15,6	5,5	6,7
Moyenne	10,9	142	61,0	15,1	5,2	4,2
Écart-type	2,9	12	1,5	0,3	0,6	2,6

Tableau 3 : Moyenne et écart-type des quatre échantillons de grauwackes stériles ayant été utilisés dans le bilan de masse.

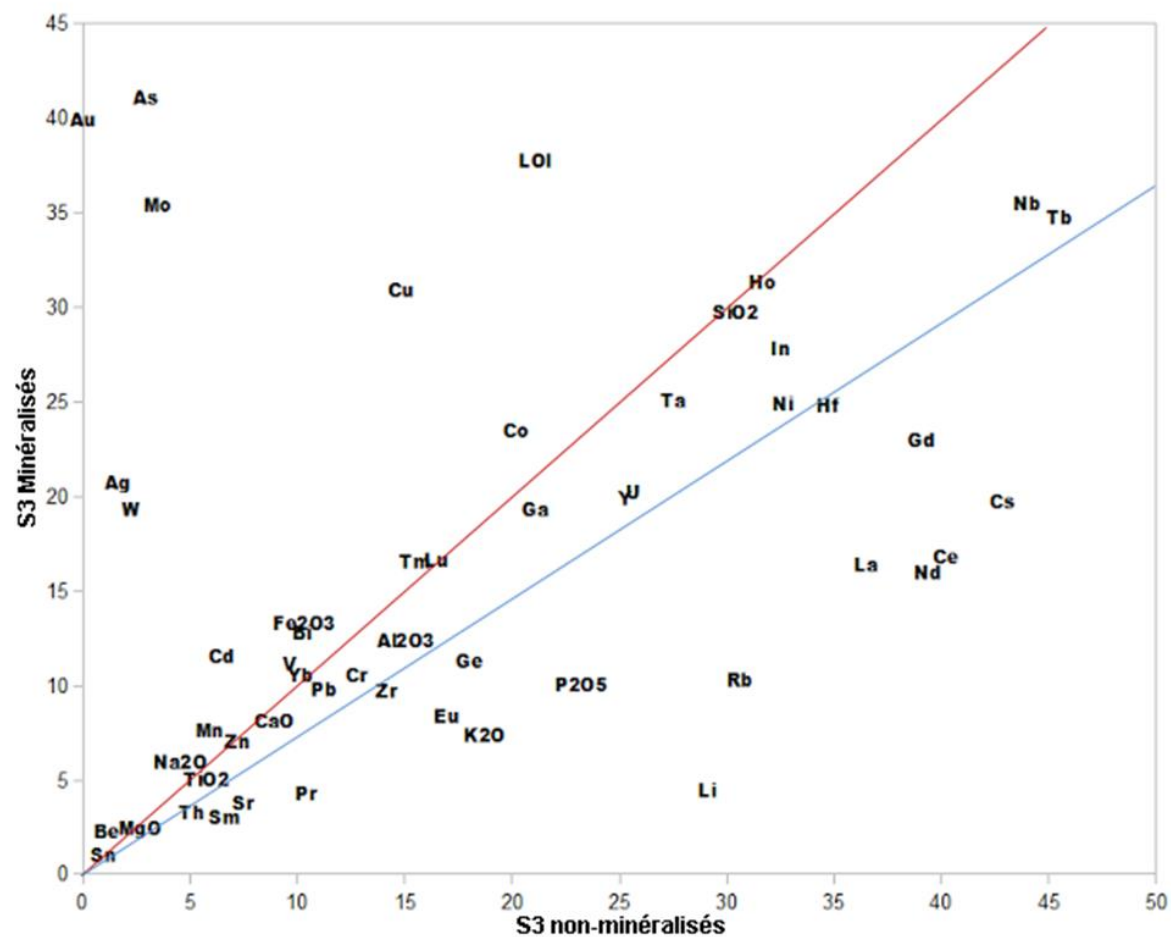


Figure 35 : Bilan de masse de quatre (4) grauwackes distaux sans valeur aurifère et de quatre (4) grauwackes provenant de la zone contact ayant des valeurs en or. La ligne bleue est tracée à partir des éléments immobiles (Zr et TiO_2) alors que la ligne rouge représente une pente de 1.

No.Éch.	Au ppm	Ag ppm	Au/Ag
VZ-12-08	5,32	1,39	3,83
VZ-12-20	2,74	1,56	1,76
VZ-12-22	6,94	2,16	3,21
VZ-12-31	1,03	0,36	2,85
VZ-12-39	8,11	1,61	5,04
VZ-12-56	5,24	1,81	2,9
VZ-12-57	7,25	2,25	3,22
VZ-12-106	2,42	0,99	2,44
VZ-12-110	1,97	0,71	2,77
VZ-12-136	10,05	2,03	4,95
VZ-12-137	17,85	2,79	6,4
VZ-12-139	8,94	1,6	5,59
VZ-12-162	0,36	0,31	1,17
VZ-12-168	10,11	2,36	4,28
VZ-11-07	4,28	0,9	4,76
VZ-11-08	51,8	9,75	5,31
Moyenne	9,03	2,04	4,43

Tableau 4 : Valeur en ppm et ratio Au/Ag des analyses roches entières provenant de la zone minéralisée.

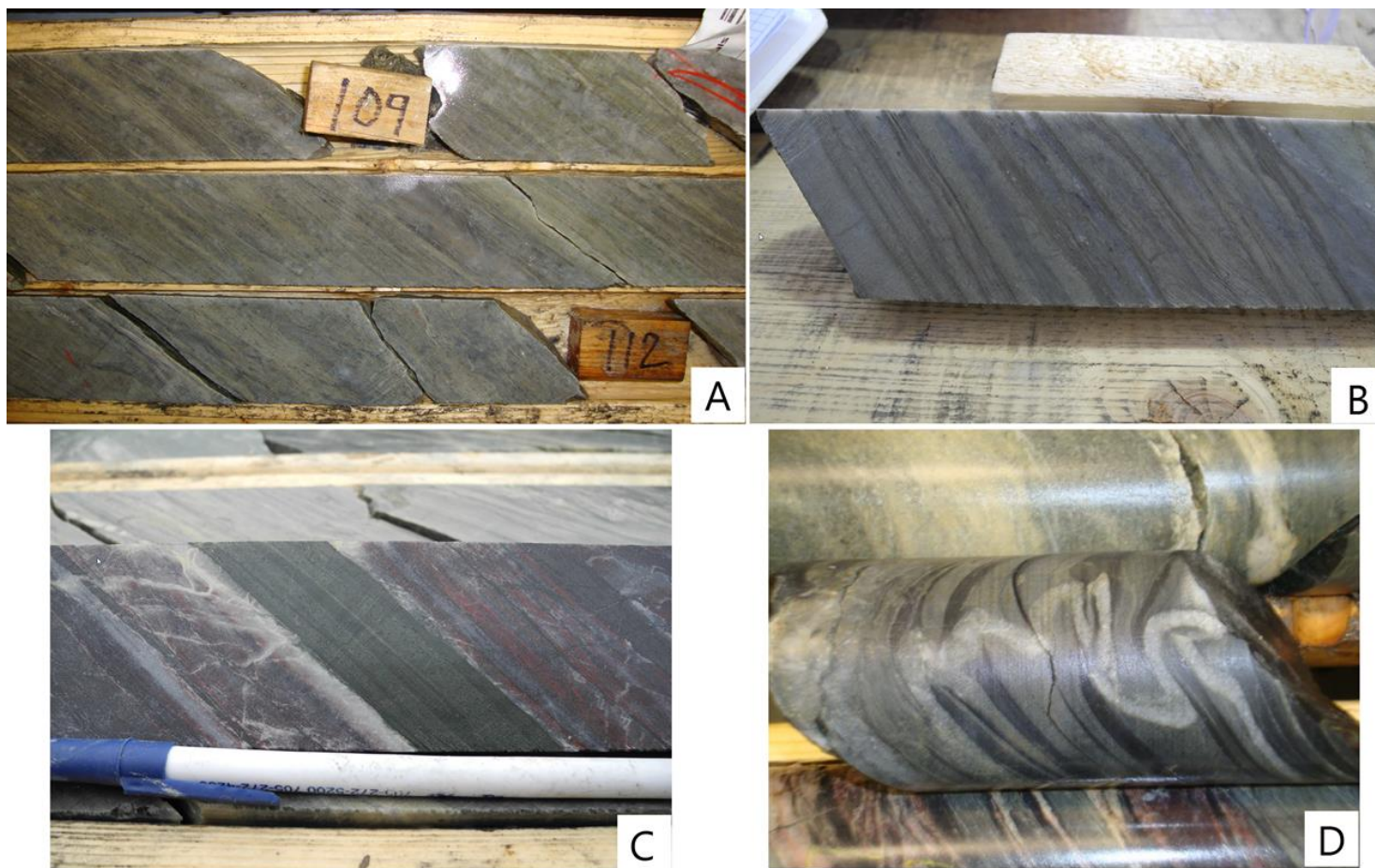


Figure 36 : A) Forage V-10-212 à 110,5m et B) forage V-10-209 à 115m montrant des alternances de grauwwackes et d'argilites minéralisées avec une silicification sous forme de veinules parallèles à la schistosité ainsi qu'une silicification sous forme pénétrante des grauwwackes C) Horizons de jaspe et de chert recoupés par des veinules de quartz d'aspect bréchique ; D) Veinule de quartz et carbonates plissée qui recoupe orthogonalement la schistosité et le litage d'une alternance de grauwwackes et d'argilite.

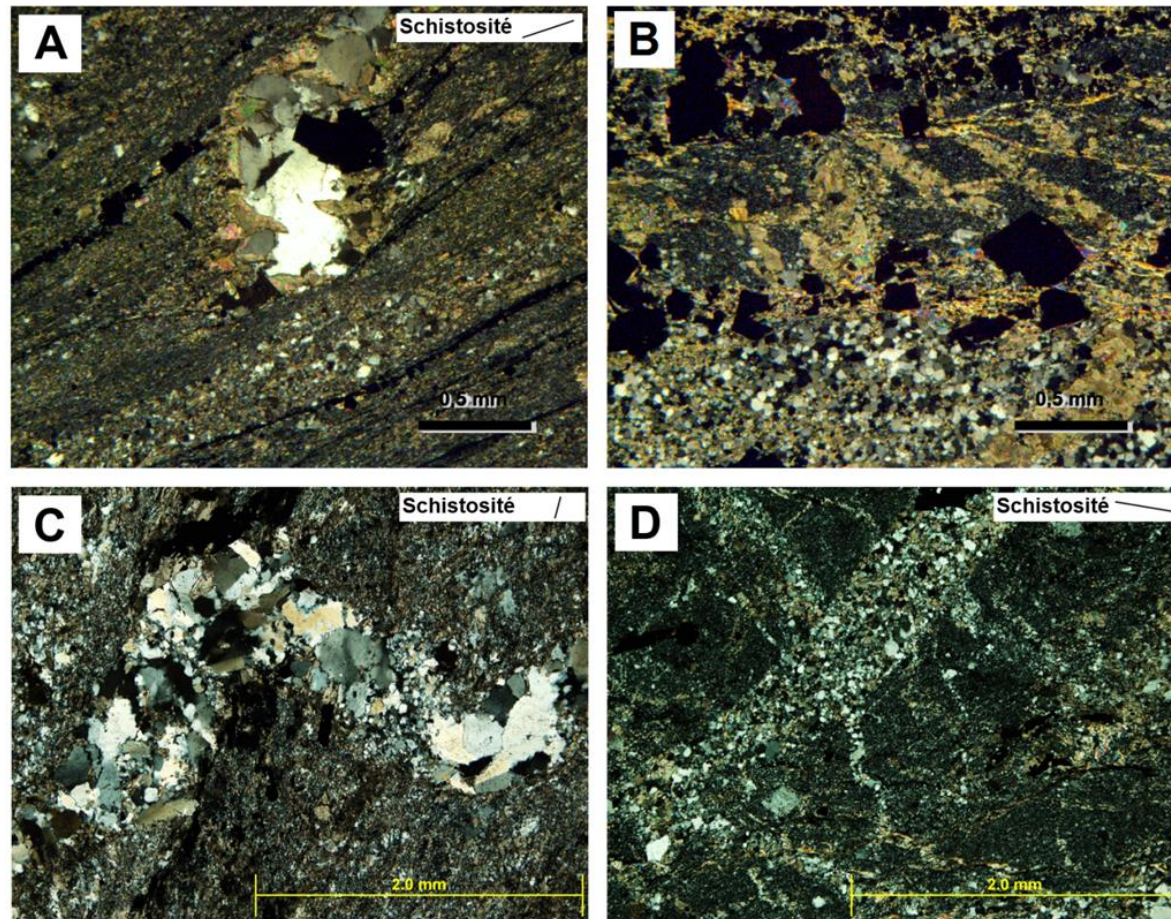


Figure 37 : A) Veinules de quartz-carbonates parallèles à la schistosité dans une argilites graphiteuses, échantillon V-12-139; B) Chert et jaspe provenant de la zone aurifère contact et recoupés par une brèche de carbonates, échantillon V-12-31; C) Veinule plissée orthogonale à la schistosité, échantillon V-12-56; D) Silicification pénétrante et veinules dans un grauwaacke, échantillon V-12-08.

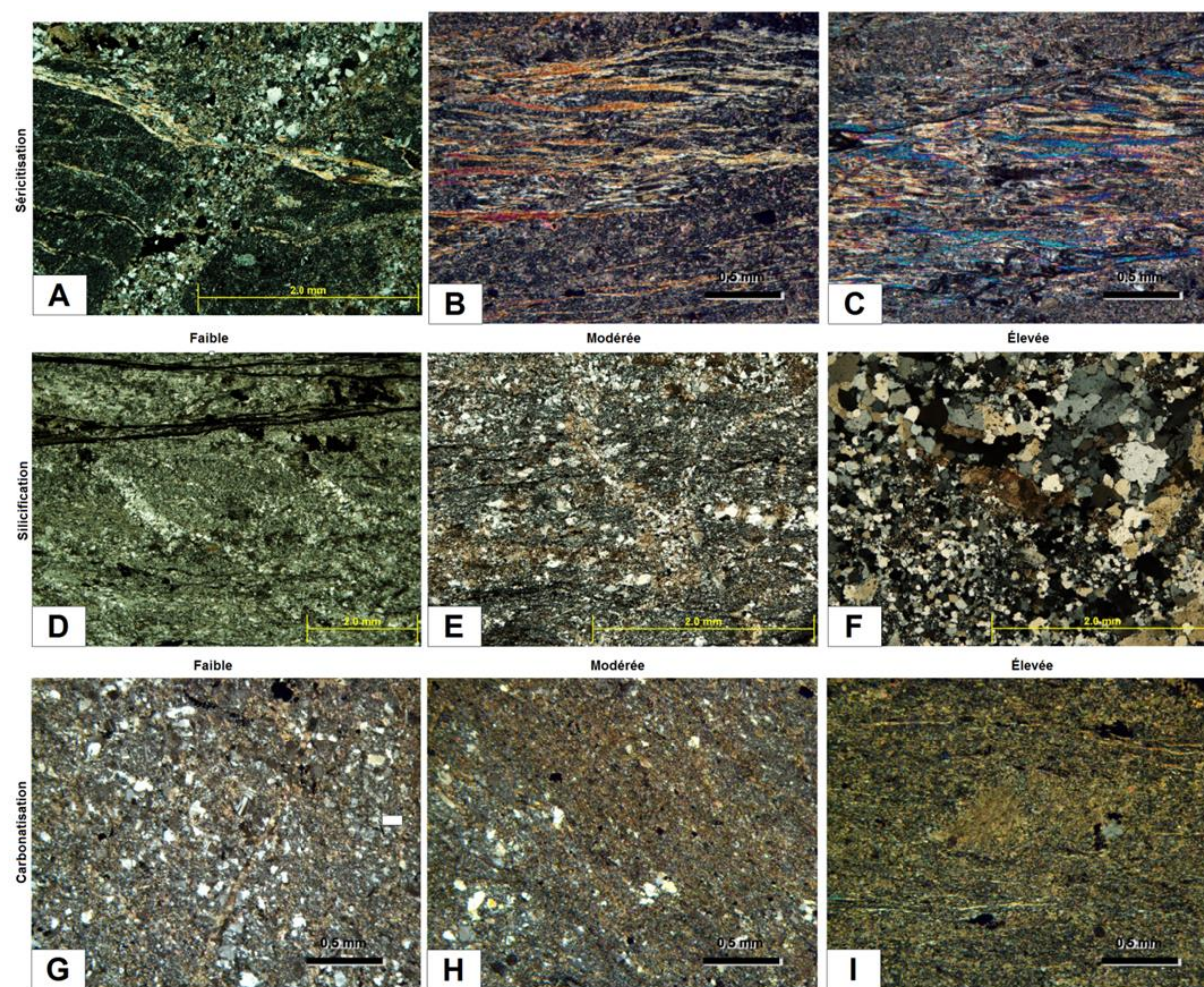


Figure 38 : Photographies microscopiques montrant différents niveaux d'intensité de séricitisation (A, B et C), de silicification (D, E et F) et de carbonatation (G, H et I).

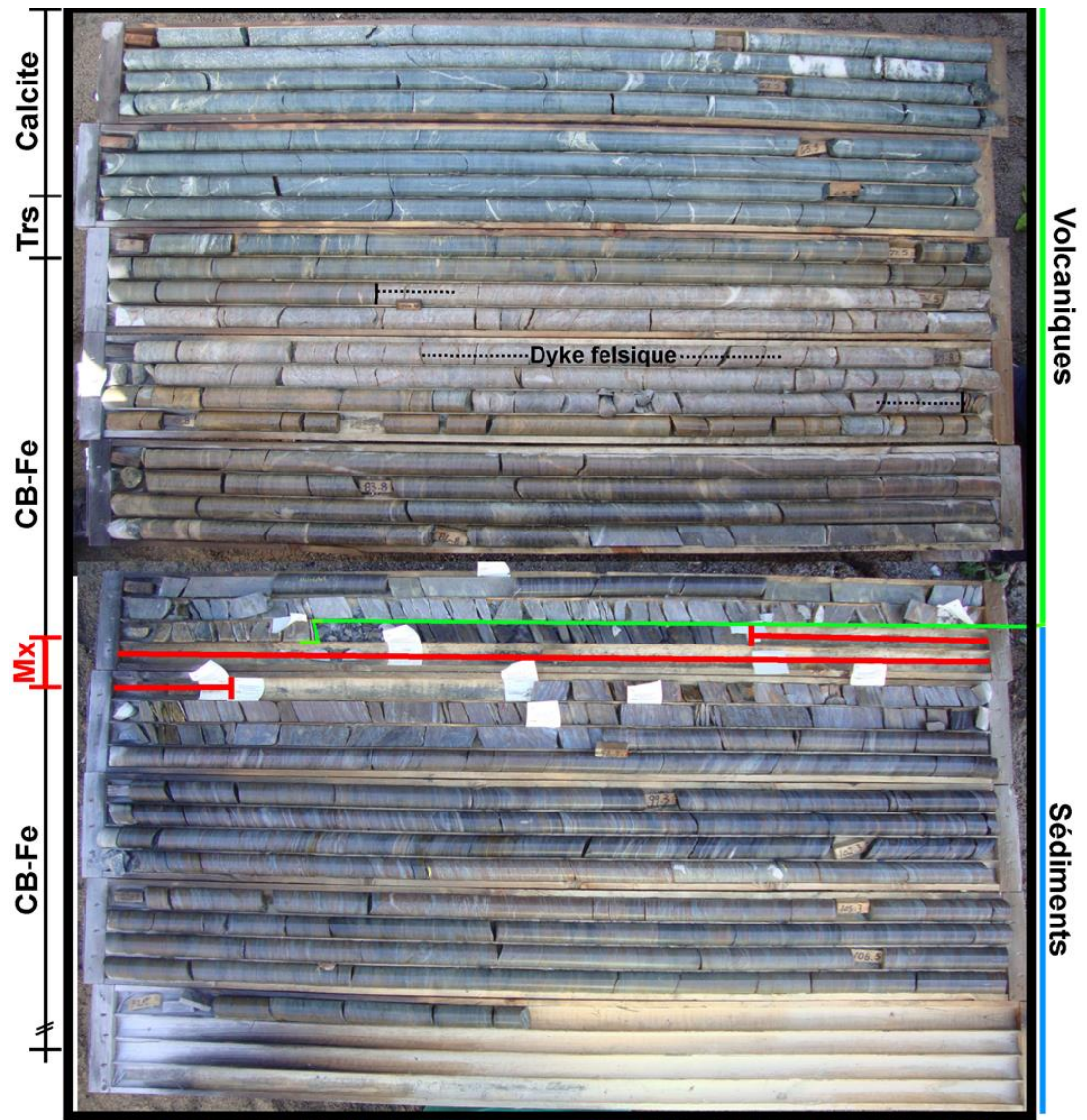


Figure 39 : Exemple de la zonalité de l'altération en carbonates. Forage V-200-06. Le côté droit de la figure montre avec une ligne la lithologie rencontrée où une ligne verte représente les roches volcaniques et une ligne bleue représente les roches sédimentaires. Le côté gauche de la figure montre la zonalité des carbonates où TRS = transition; CB-Fe = carbonates de fer; et Mx = minéralisation).

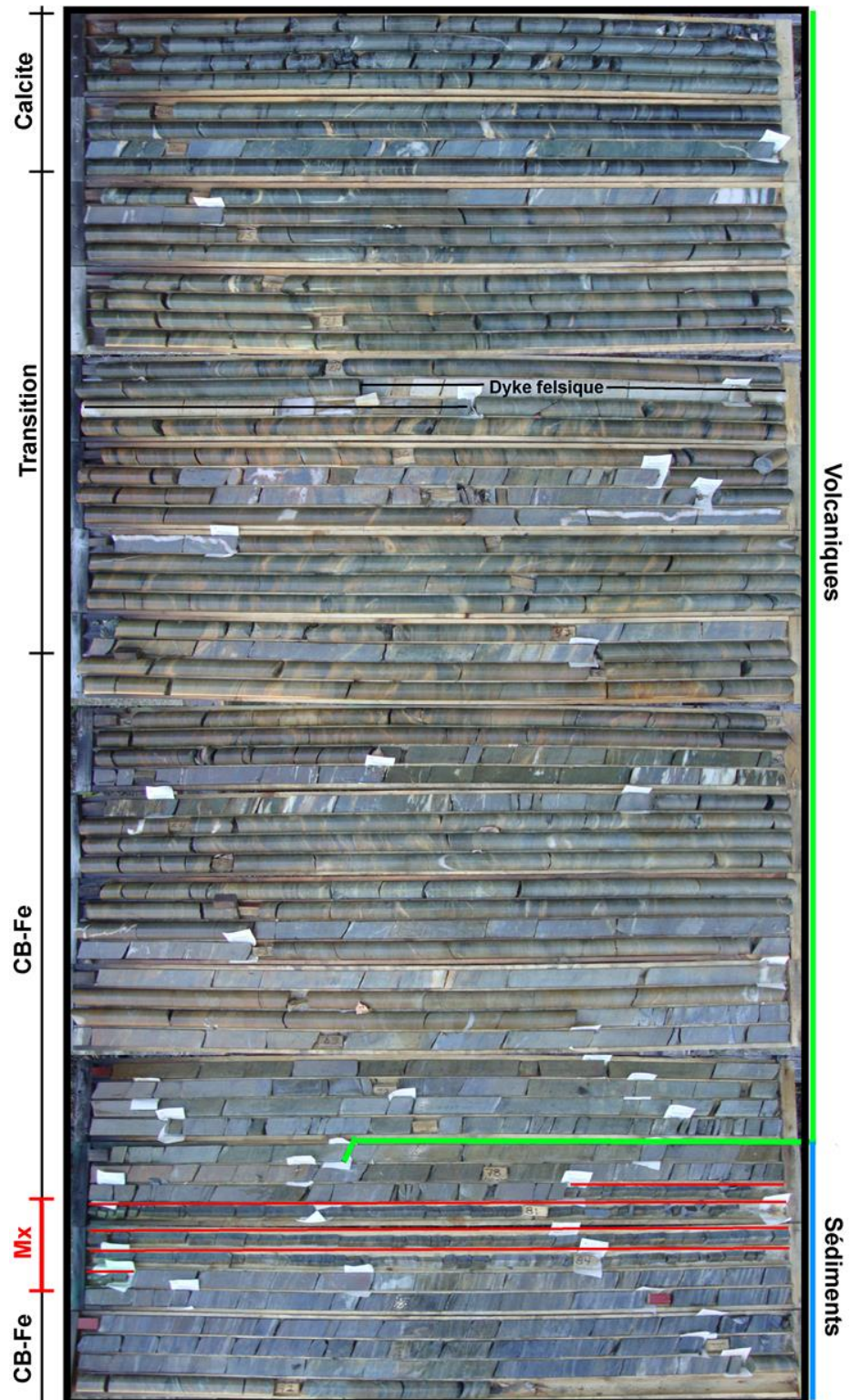


Figure 40 : Exemple de la zonalité de l'altération en carbonates. Forage V-550-021. Le côté droit de la figure montre avec une ligne la lithologie rencontrée où une ligne verte représente les roches volcaniques et une ligne bleue représente les roches sédimentaires. Le côté gauche de la figure montre la zonalité des carbonates où CB-Fe = carbonates de fer ; et Mx = minéralisation).

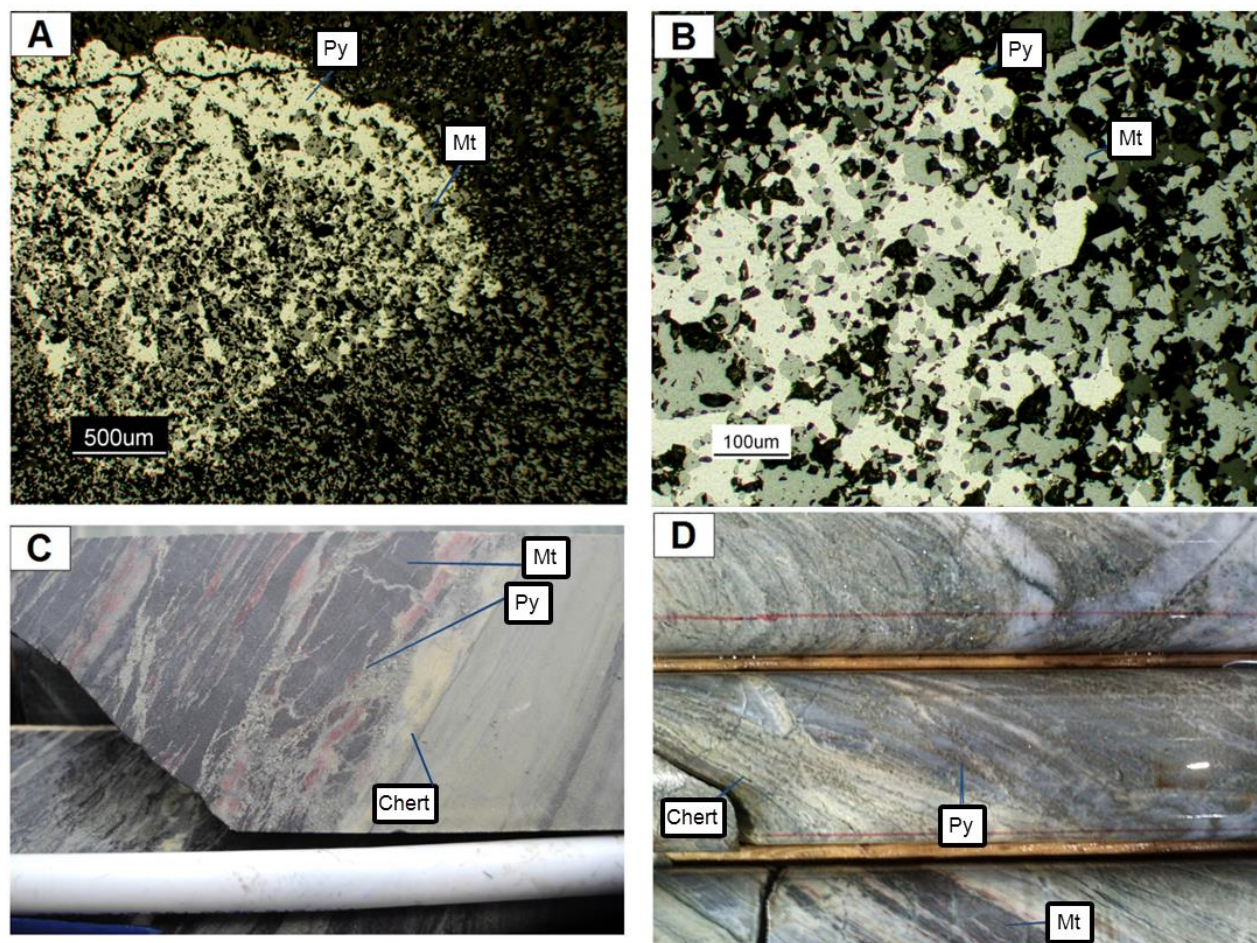


Figure 41 : A-B) Sulfuration partielle d'un horizon d'oxyde de fer recoupé par une veinule de quartz en lames minces (échantillon V-11-13) ; C) Sulfuration partielle des oxydes de fer en carottes de forages (forage V-10-187 à 213.3m) : D) Sulfuration complète des oxydes d'une formation de fer en carottes de forages (forage d'exploration réalisé en 2012).

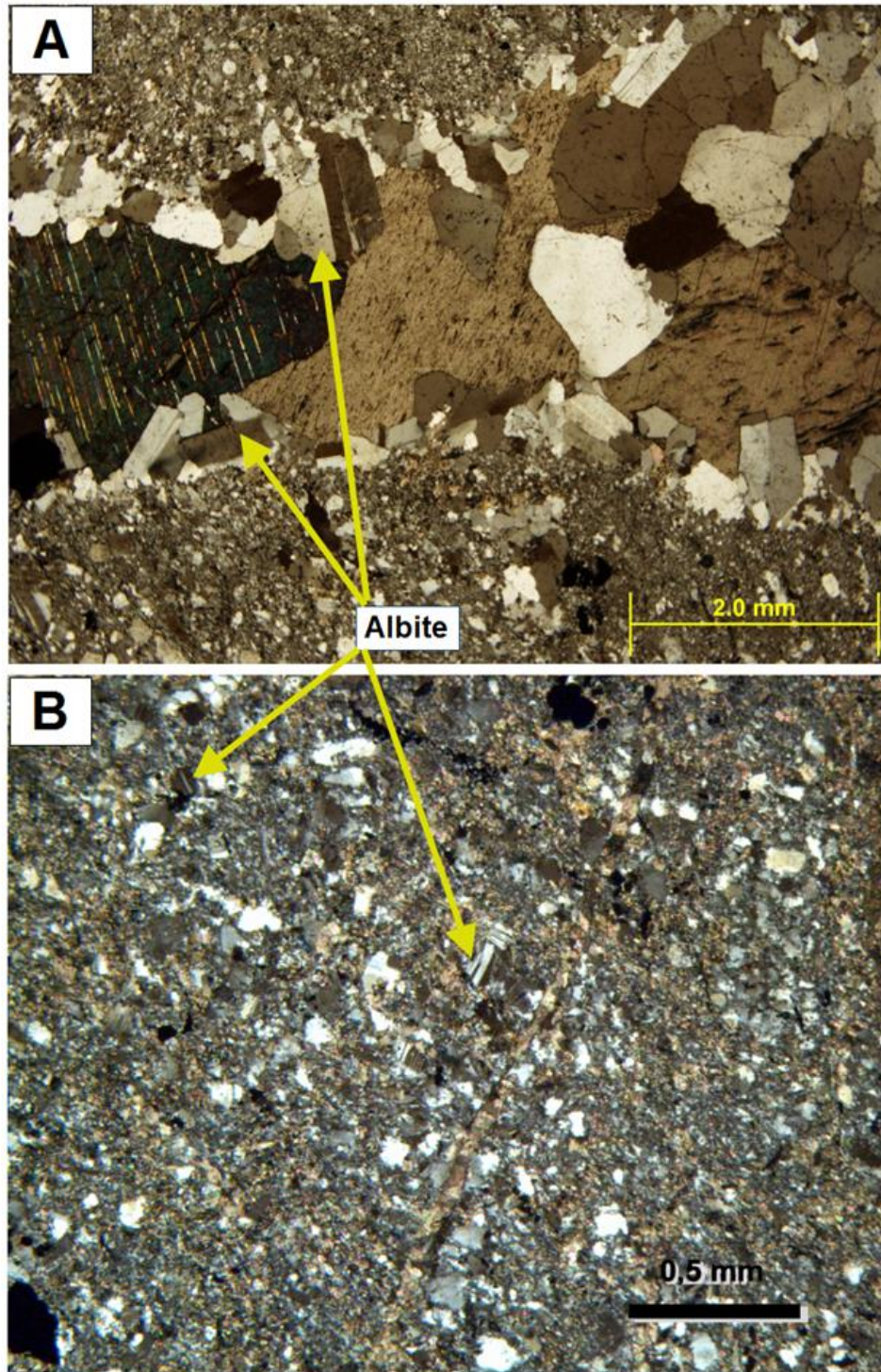


Figure 42 : A) Veinules avec encroûtement d'albite aux épontes, échantillon V-11-07; B) Albite disséminée dans un grauwaacke altéré, échantillon V-12-106.

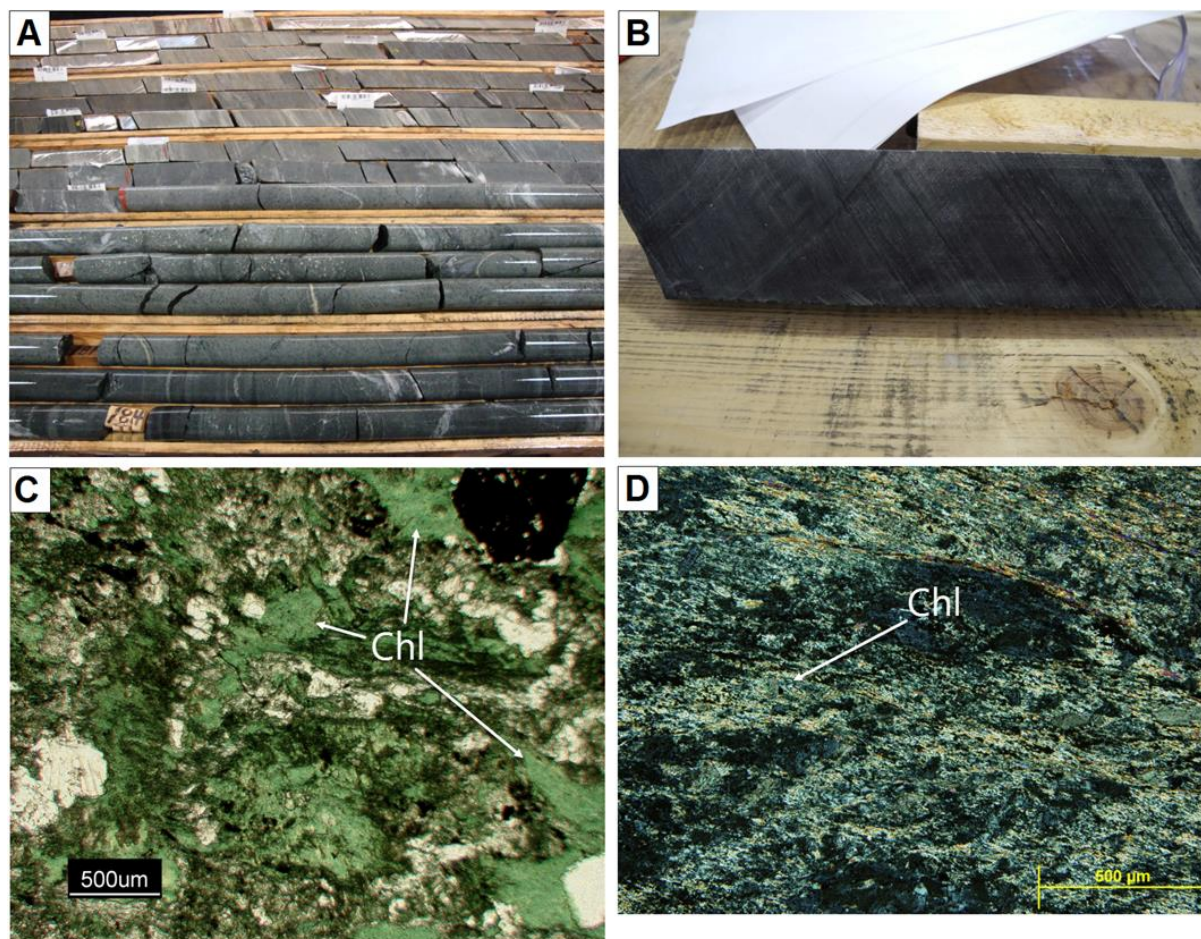


Figure 43 : A) Exemple de chloritisation en forage dans des basaltes, forage V-10-186 ; B) Exemple de chloritisation en forage dans des argilites graphiteuses, forage V-10-217 à 97,0 m ; C) Chlorite verte en lame mince dans des basaltes, échantillon V-11-01 ; D) Chlorite noire en lame mince provenant d'une argilites graphiteuses, échantillon V-12-40.



Figure 44 : Veinules de quartz en association avec des rosettes de tourmaline dans un grauwaacke fortement altéré et minéralisé, forage V-10-217 à 102,5 m.

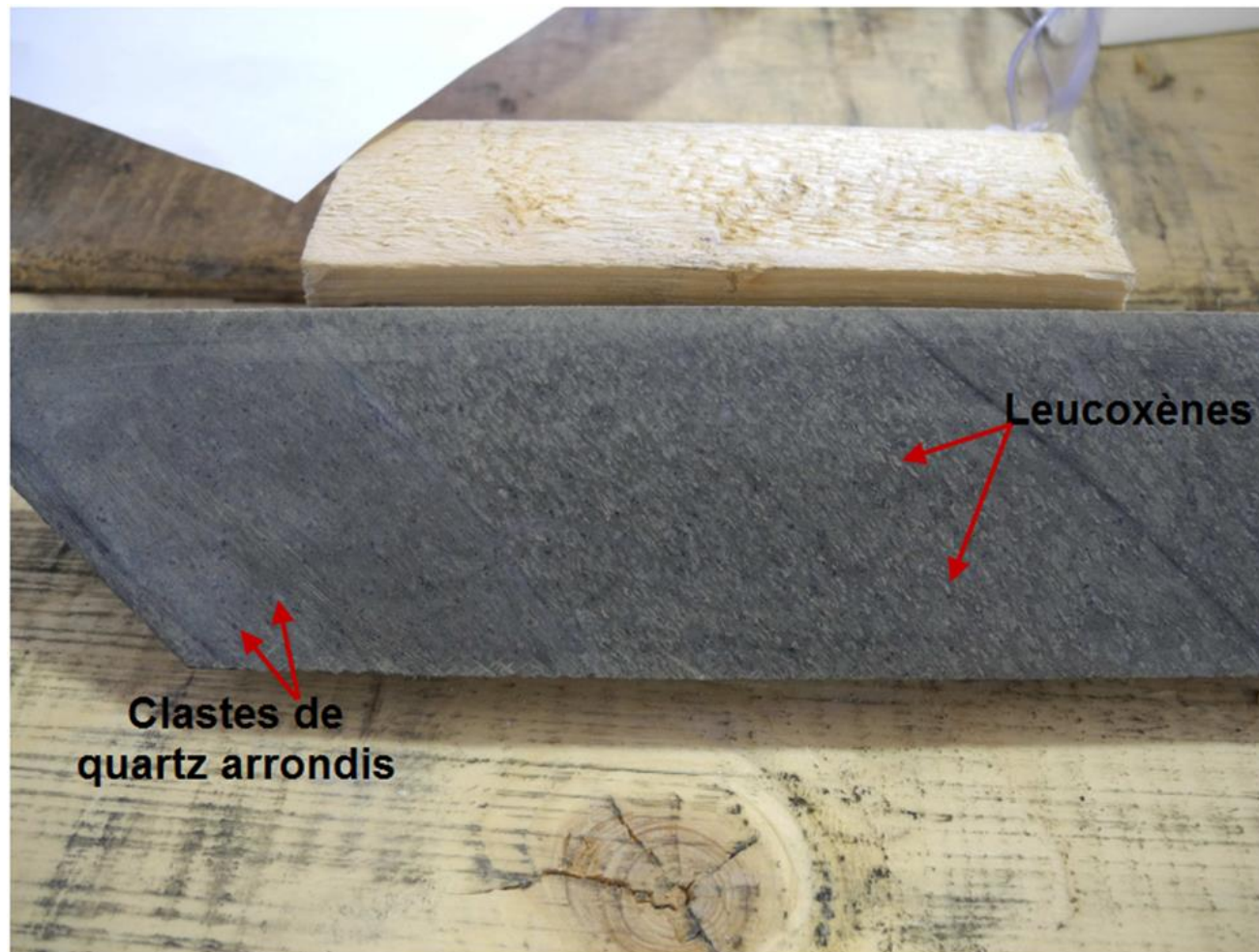


Figure 45 : Exemple de carottes de forages montrant un grauwaacke constitué de clastes de quartz arrondis avec de forte proportion de leucoxènes, forage V-10-209 à 110,5m.

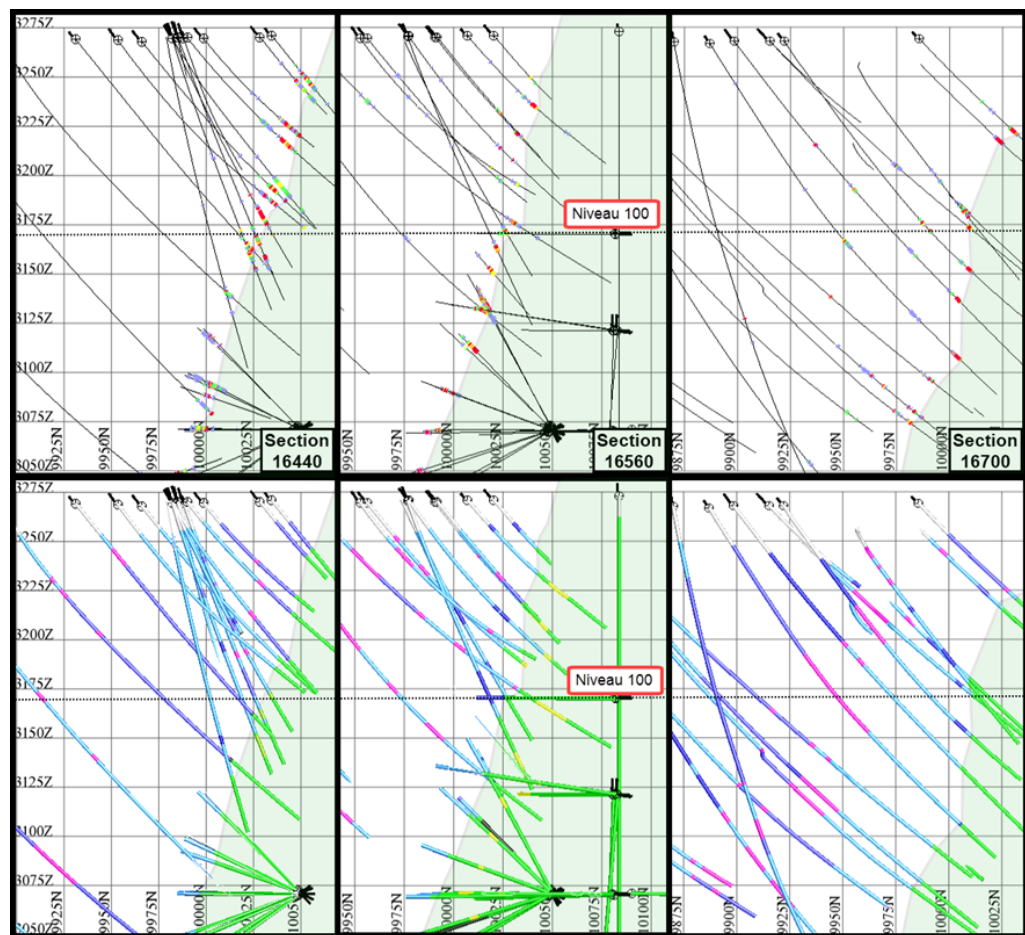


Figure 46 : Sections avec vue vers l'ouest montrant les teneurs aurifères (bleu=0,1-0,5ppm Au ; vert 0,5-1,0ppm Au ; jaune=1,0-2,5ppm Au ; orange=2,5-5,0ppm Au ; rouge >5,0ppm Au), et les lithologies principales dans ces mêmes sections sous-jacentes (en vert les roches volcaniques mafiques, en jaune les intrusions felsiques, en bleu pâle les grauwwacks, en bleu foncé les argilites et en rose les formations de fer et les cherts). La zone en vert pâle représente les basaltes. Source des données : NAP Québec

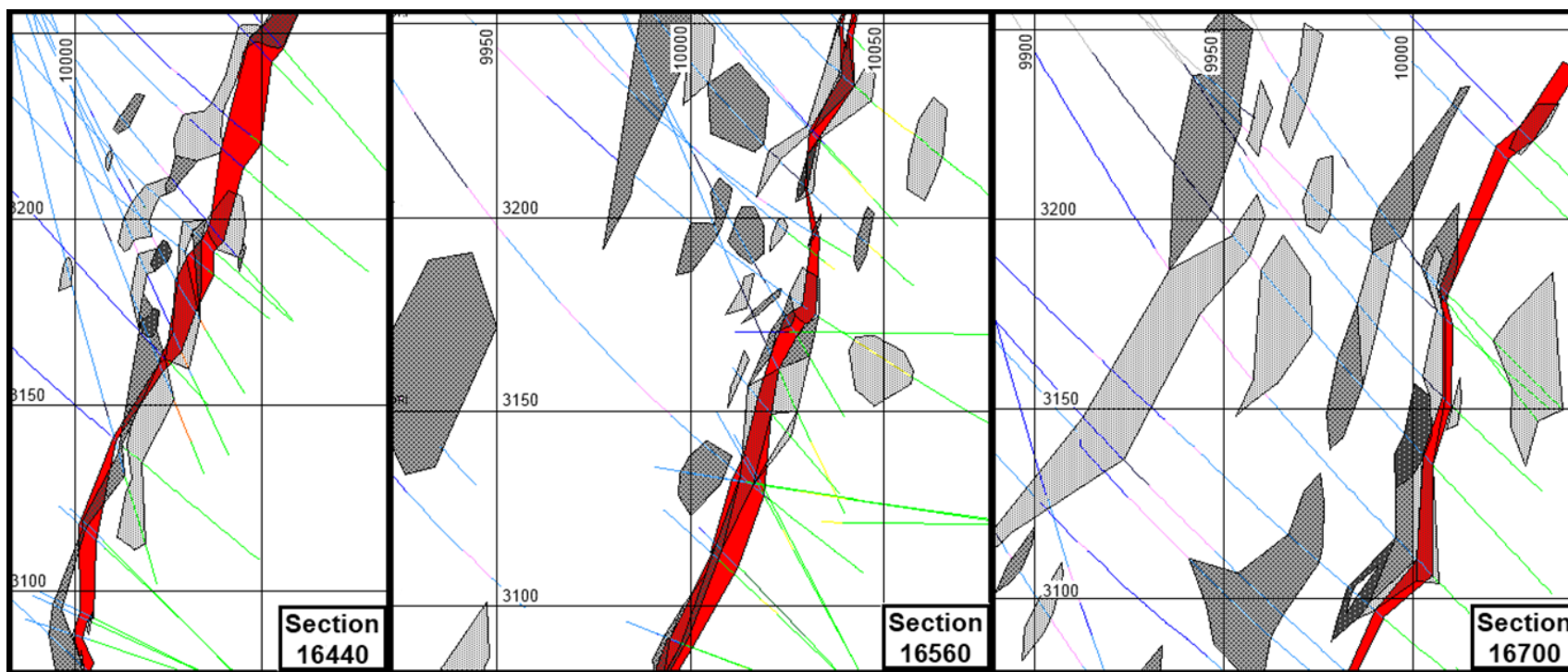


Figure 47 : Trois différentes sections avec vue vers l'ouest montrant la distribution de l'altération en séricite en fonction de son niveau d'intensité (En gris pâle les roches faiblement séricitisées; en gris moyen les roches modérément séricitisées; en gris foncé les roches fortement séricitisées ; et en rouge l'enveloppe de la zone aurifère).

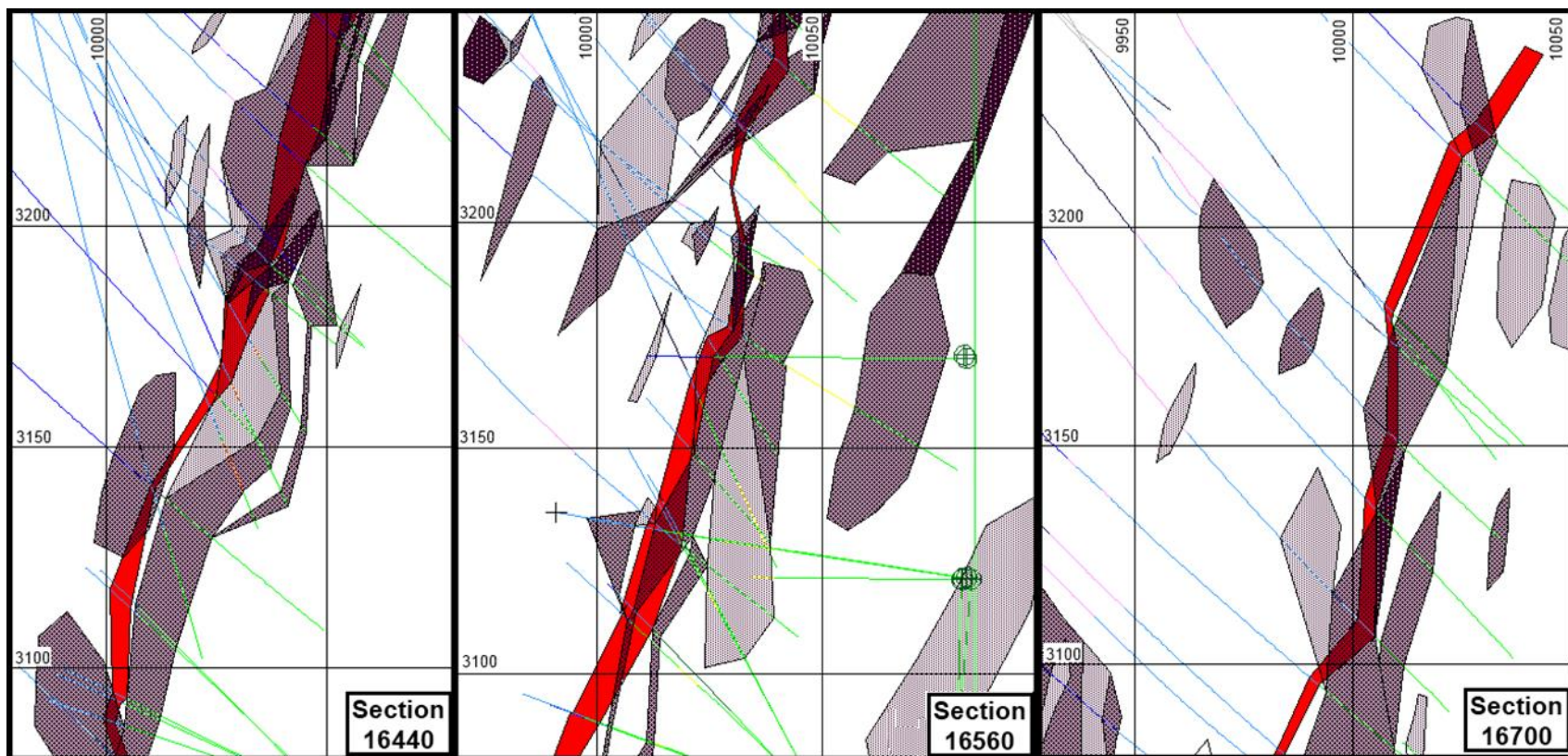


Figure 48 : Trois différentes sections avec vue vers l'ouest montrant la distribution de la carbonatation en fonction de son niveau d'intensité (En mauve pâle les roches faiblement carbonatées; en mauve moyen les roches modérément carbonatées; en mauve foncé les roches fortement carbonatées ; et en rouge l'enveloppe de la zone aurifère).

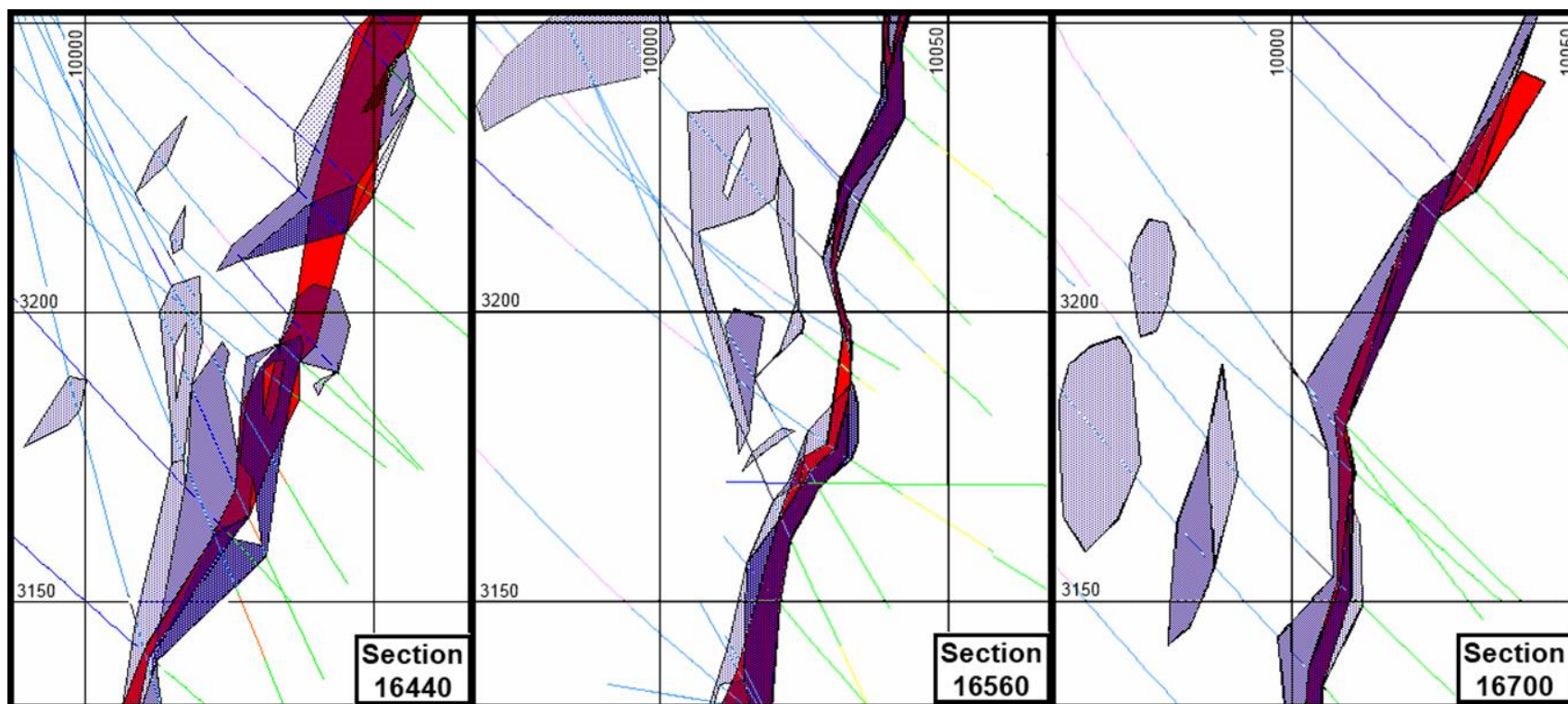


Figure 49 : Trois différentes sections avec vue vers l'ouest montrant la distribution de la silicification en fonction de son niveau d'intensité. (En bleu pâle les roches faiblement silicifiées; en bleu moyen les roches modérément silicifiées; en bleu foncé les roches fortement silicifiées ; et en rouge l'enveloppe de la zone aurifère.

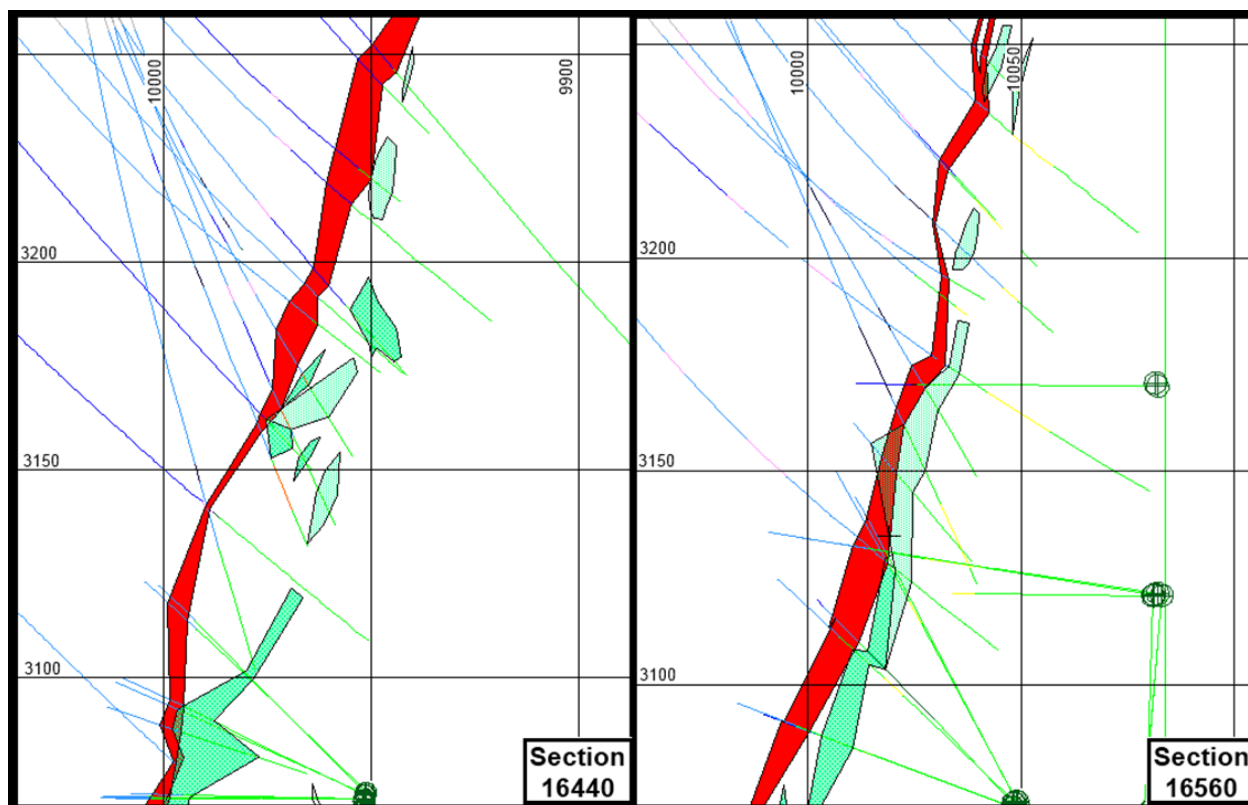


Figure 50 : Deux différentes sections avec vue vers l'ouest montrant la distribution de la fuchsitisation en fonction de son niveau d'intensité. (En vert pâle les roches faiblement fuchsitisées; en vert moyen les roches modérément fuchsitisées; en vert foncé les roches fortement fuchsitisées et en rouge l'enveloppe de la zone aurifère).

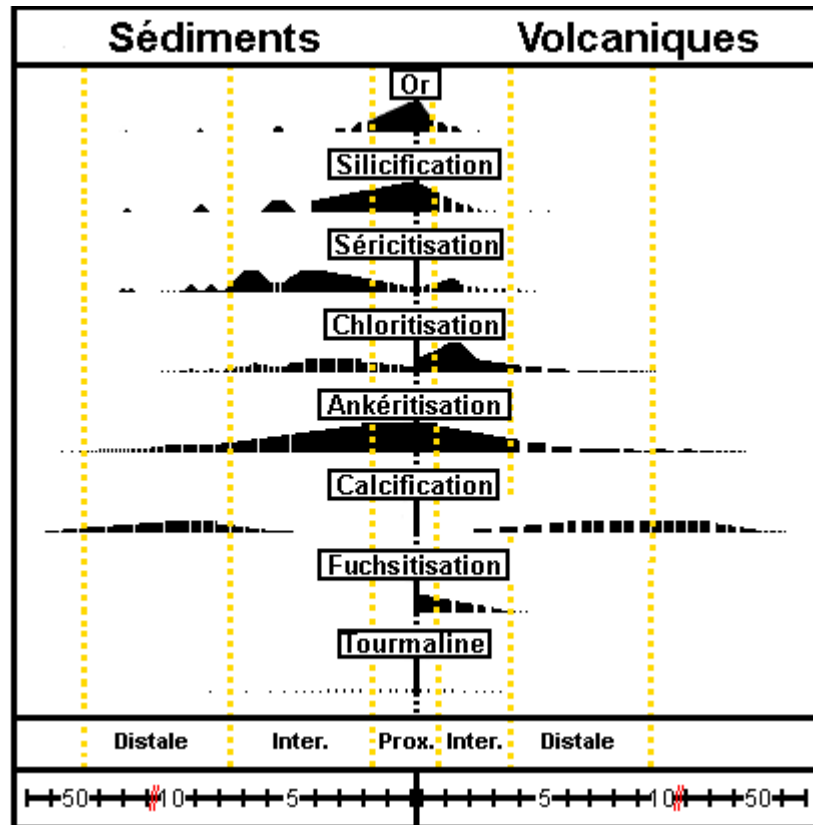


Figure 51 : Synthèse de la zonalité des minéraux d'altérations où la hauteur des bandes noires représente l'intensité de l'altération. Notez que l'échelle est brisée afin de pouvoir représenter avec le plus de détails et sur le même diagramme l'altération pour les roches volcaniques et les roches sédimentaires. Cette figure est basée sur les observations de l'auteur réalisées à partir des carottes de forages et des excavations souterraines.

CHAPITRE 5

Minéralisation

5.1 Introduction

Ce chapitre a pour but de décrire de manière exhaustive la minéralisation aurifère du dépôt Vezza. De ce fait, la dimension de la zone aurifère principale, la minéralogie, l'aspect macroscopique et microscopique de la minéralisation ainsi que la distribution de l'or seront présentés et discutés. Par la suite, une étude sur la chimie des sulfures réalisée au LA-ICP-MS et une étude de la chimie des fluides par l'analyse des inclusions fluides par spectrométrie de masse seront successivement présentées. Une synthèse et une corrélation entre les points les plus importants du chapitre seront finalement présentées.

5.2 Description du minerai

5.2.1 Morphologie du dépôt

Le premier constat à faire au gisement Vezza est que la plupart de la minéralisation aurifère se retrouve encaissée dans les roches sédimentaires directement ou à proximité (généralement à moins de 1 m) du contact entre les roches sédimentaires et une bande de roches volcaniques interne au bassin du Taïbi (figure 46). En effet, les carottes de forages montrent que la zone aurifère débute dans la plupart des forages directement au contact avec les roches volcaniques et s'étend sur une épaisseur d'ordre pluri-métrique dans les roches sédimentaires vers le sud. D'est (section 16700) en ouest (section 16440), la distribution de l'or reste la même. Ces sections montrent que la lithologie qui encaissent presque exclusivement l'or est le grauwacke (figure 46, bleu pâle) ou encore des alternances de grauwackes et d'argilite (bleu intermédiaire). La zone aurifère a une épaisseur variable, passant de moins de 3 m à plus de 11 m (maximum observé au niveau 650). C'est cette zone de «contact» qui est l'hôte principal de la minéralisation aurifère du dépôt Vezza. D'autres zones aurifères marginales et fortement discontinues sont aussi connues plus au sud dans la partie sédimentaire. Quelques veines

aurifères de faible puissance et discontinues sont également connues dans les roches volcaniques au nord ainsi que dans les roches sédimentaires.

La figure 52 est une section longitudinale réalisée le long de ce contact lithologique avec vue à 008N. La zone minéralisée présentée sur cette figure s'étend sur plus de 450 m d'est en ouest avec une orientation moyenne de 098N. À l'est, le dépôt est bordé et recoupé par une faille cassante tardive d'ampleur régionale et d'orientation nord-nord-ouest formant un jeu de blocs décalant sur plusieurs centaines de mètres au nord les possibles extensions à l'ouest du dépôt. La limite est du dépôt est quant à elle moins nette et se traduit plutôt par une diminution progressive des épaisseurs et teneurs aurifères. Verticalement, le dépôt est continu sur plus de 750 m de profondeur avec un pendage moyen de 70 degrés. Le rapport Ni-43-101 (Salmon et Pelz, 2010) estime que la somme des tonnages indiquée et estimée est de 1 510 000 tonnes de minerai avec une teneur aurifère moyenne de 5,9 g/t pour un total de 287 500 onces. Il y a aussi 754 000 tonnes supplémentaires inférées avec une teneur moyenne estimée à 5,0 g/t qui s'ajoutent au dépôt.

5.2.2 Minéralogie du minerai

La minéralisation de la zone contact a précédemment été caractérisée par Agnerian et al. (1989) comme étant associée à : 1) une intense silicification pénétrante et envahissante qui inonde la roche (*silica flooding*); 2) un système de fracturation bien développé incluant de fines brèches et veinules aléatoires; 3) de la fine pyrite disséminée; et 4) une altération en carbonates de fer donnant un aspect lessivé à la roche.

Lors de cette étude, les observations macroscopiques et microscopiques (figures 53 et 54) de diverses portions de la zone minéralisée de Vezza ont permis de confirmer les constats d'Agnerian et al. (1989). Ainsi, les zones minéralisées correspondent à des roches silicifiées et carbonatées, contenant de faibles proportions de sulfures, essentiellement de la pyrite, de l'arsénopyrite et de la pyrrhotine avec des minéraux d'altération comme la séricite, la chlorite, l'albite, des leucoxènes, de la fuchsite, de l'épidote ainsi que de la tourmaline. La roche encaissante est communément

reconnaissable par divers reliquats comme des clastes de quartz, de plagioclases, des argilites, des fragments de chert ou de jaspe, du graphite, ou encore des volcanites localement coussinées.

Dans le cas où la minéralisation est encaissée dans un grauwaacke, comme l'exemple montré à la figure 53A, la roche est constituée de clastes de quartz arrondis à subarrondis et de feldspaths angulaires à sub-angulaires, albitisés et séricitisés, dans une matrice de carbonates de fer, quartz, séricite, muscovite et chlorite accompagnés de proportions variables (entre 0 et 5%) de leucoxène (figure 53B). La roche est recoupée par de nombreuses veinules fines formant localement des réseaux anastomosés d'injections diffuses de carbonates, quartz et pyrite et localement de la tourmaline. La silicification et la carbonatation pénétrantes et diffuses sont préférentiellement développées dans cette unité lithologique. La pyrite est le sulfure principal retrouvé dans les grauwaackes minéralisés, avec des proportions variant de moins de 1% à plus de 10% localement (Figure 53C-D). Des traces d'arsénopyrite et de pyrrhotine se retrouvent aussi dans le minerai. En lames minces, on voit que la distribution de la silicification et de la carbonatation se retrouve en zones diffuses entre les clastes sédimentaires et dans les veines et veinules (figure 53B-D). Lorsque la minéralisation est encaissée dans les unités gréseuses d'épaisseur métrique à pluri métrique, elle prend un aspect massif, donnant même des cassures conchoïdales, comme le montre la figure 53A.

Lorsque la minéralisation se retrouve encaissée dans des unités complexes, telle qu'une alternance d'argilites et de grauwaackes, elle prend alors un aspect plus ou moins rubané (figure 54A-B). La présence d'argilites cause des discontinuités des zones d'altération en silice-carbonates. Cela a pour effet d'induire un aspect rubané et boudiné à la minéralisation où la roche est constituée d'alternances d'horizons millimétriques à pluri décimétriques silicifiés-carbonatés et d'horizons millimétriques à centimétriques chloritisés-séricitisés.

Une autre unité minéralisée appelée, «le cisaillement graphiteux» fait partie intégrante du minerai du gîte Vezza. Cette lithologie est une pélite constituée de chlorite, séricite, graphite et pyrite. Des proportions de pyrite pouvant atteindre jusqu'à 15% sont présentes avec localement une texture nodulaire plus ou moins bien développée. Le cisaillement graphiteux, bien que proche de la

minéralisation, contient communément de faibles teneurs aurifères rarement supérieures à 3 g/t. Cette unité stratigraphique représente un repère étant donné qu'elle constitue souvent l'éponte nord du minerai économique (figure 53A). Cette unité graphiteuse peut ainsi se retrouver interdigitée avec les roches sédimentaires ou les volcanites, ou encore être dilatée par l'injection de veines et veinules. Ces veines et veinules sont communément plissées ou boudinées et particulièrement riches en calcite (figure 54C). À l'image de sa géométrie à l'échelle microscopique (figure 55A-B), cette argilite graphiteuse peut n'être qu'un seul horizon ou encore se ramifier. Elle forme ainsi un réseau anastomosé et boudiné avec plusieurs horizons plus fins et discontinus formant toutefois globalement une unité continue (figure 54D). En lames minces, le graphite se retrouve en proportions variées quelques fois dans la matrice avec la chlorite et la séricite (figure 55B) ou encore en rubans monominéraliques ou veinules (figure 55A).

Tel que brièvement décrit dans le chapitre 4, certaines intersections minéralisées montrent des évidences qu'une certaine proportion de la roche encaissant la minéralisation était une formation de fer. Premièrement, comme le présente la figure 46, l'environnement immédiat de la minéralisation aurifère contient plusieurs horizons de sédiments chimiques mais qui sont, à première vue, absents au niveau de la minéralisation de la zone contact. Cependant, certains segments du minerai contiennent des fragments de cherts comme le montrent les figures 37B et 55C. Il est donc possible, en considérant l'intensité de l'altération hydrothermale, que les lits d'oxydes de fer aient été totalement lessivés. De plus, au cours de l'observation microscopique des pyrites issues d'échantillons minéralisés, certaines montrent des textures poecilites avec des cœurs de magnétite (figure 55D), suggérant que des formations de fer, totalement métasomatisées, soient présentes dans la zone contact.

Bien que la grande majorité de la minéralisation aurifère soit encaissée dans les roches sédimentaires, les roches volcaniques mafiques et les intrusions felsiques contiennent localement des teneurs aurifères. Tel que rapporté dans le NI-43-101 (Salmon et Pelz, 2010), ces intervalles sont de faibles épaisseurs, erratiques et contribuent de manière mineure au volume de la minéralisation. Dans les portions minéralisées, les roches volcaniques se présentent comme étant riches en carbonates,

essentiellement en ankérite, accompagnées d'une silicification plus ou moins forte. Macroscopiquement, les roches volcaniques minéralisées sont caractérisées par une chloritisation, une épidotisation et une séricitisation envahissantes et pénétrantes plus ou moins bien développées. La fuchsite est observable dans la plupart des zones aurifères encaissées par des volcanites mafiques. Cependant elle ne se retrouve pas exclusivement en association avec la minéralisation. Sur de courts intervalles proximaux à la minéralisation, des horizons montrant des concentrations de fins cristaux d'arsénopyrite avec un diamètre moyen de 1-2 mm sont localement observables. Ces horizons riches en arsénopyrite ont préférentiellement été observés dans les basaltes où les concentrations d'arsénopyrite peuvent localement atteindre plus de 10% sur des épaisseurs métriques. L'importante ankéritisation des roches volcaniques donne une couleur pâle à la roche et les carbonates de fer ne réagissant que lorsqu'ils sont mis en poudre. L'appellation « lessivé » a parfois été donnée à la roche, et ce, même si cette appellation correspond en réalité à un gain de masse causé par l'intense ajout de carbonates et de silice.

Les intrusions felsiques, qui se retrouvent à proximité de la zone contact, sont aussi localement minéralisées. Dans de tel cas, une forte silicification et carbonatation, encore une fois en carbonates de fer, et une bréchification sont notables. L'or dans les dykes felsiques ne représente qu'une partie infime du total de la minéralisation et ces zones sont généralement de faible épaisseur, soit d'ordre décimétrique à pluri décimétrique.

Un autre fait important, constaté à partir des observations en lames minces, est la présence d'amphiboles porphyroblastiques dans la minéralisation. Ces amphiboles idioblastiques, caractérisées par une orientation aléatoire dans certains échantillons, indiquent qu'un métamorphisme prograde a affecté les roches après l'empreinte de la déformation. La figure 56A-B illustre bien ce phénomène où de larges cristaux d'amphiboles porphyroblastiques et idioblastiques sont développés sur un grauwacke minéralisé. Ceci démontre qu'un pic métamorphique au faciès des schistes verts supérieurs a suivi le pic de déformation ainsi que l'épisode de minéralisation.

En somme, la minéralogie retrouvée dans le dépôt est analogue à celle d'une veine orogénique et de ses épontes altérées. Un fait important à noter est que le dépôt est quasiment dépourvu d'or libre visible. Sur les 19 lames minces provenant d'échantillons minéralisés, variant entre 0,4 à 286 g/t Au, aucune n'a permis d'observer de l'or libre.

5.2.3 Distribution des valeurs aurifères

La distribution des teneurs aurifères sur la section longitudinale de la figure 52 permet d'observer que le corps aurifère du gîte Veza est préférentiellement allongé à 65-75° du nord-ouest vers le sud-est comme l'illustre la figure 57. L'allongement des valeurs aurifères en section longitudinale est alors semblable, voire identique, à l'orientation des linéations d'étirement décrites au chapitre 3. La colinéarité entre la distribution générale des vecteurs minéralisés en section longitudinale et les mesures des linéations d'étirement peut alors être interprétée comme une évidence que la minéralisation est en grande partie mise en place dans une structure compatible avec la déformation principale, soit synchrone à postérieure à la déformation.

À partir des sections présentées à la figure 46, on peut constater que la quantité et la puissance des zones aurifères hors de la zone contact sont accrues sur la section 16700 par rapport aux deux autres sections plus à l'ouest. De plus, l'importance de la minéralisation au contact diminue aussi à la section 16700. Il est plausible que la diminution des teneurs à la zone contact et la hausse des zones satellites à l'est exprime une faible focalisation des fluides hydrothermaux le long de la zone contact.

5.3 Cartographies souterraines

Dans le but d'avoir un aperçu plus détaillé et en continu de la distribution de l'or et des roches qui encaissent la minéralisation, la cartographie de trois galeries à minerai souterraines a été réalisée et est présentée aux figures 59 à 61. Ces cartographies du plafond des galeries à minerai ont été réalisées aux niveaux 200, 300 et 450, dans la portion centrale-est du gisement (figure 58). Les trois cartographies sont aussi superposées permettant ainsi d'avoir un aperçu de l'évolution verticale de la

distribution du minerai de la zone contact entre les niveaux. Dans les galeries à minerai, l'identification du type de roches sédimentaires a été ardue étant donné la forte altération hydrothermale. De plus, les niveaux de la mine qui ont été noyés sont très oxydés avec des teintes rougeâtres pour tous les types de roches, rendant encore plus difficile leur identification. L'impossibilité de faire des cassures au plafond a aussi compliqué la tâche. Cependant, dans les zones où la silicification et la carbonatation sont intenses et homogènes, la roche prend alors un aspect massif et casse de manière conchoïdale (figure 53A). Ces zones deviennent particulièrement perceptibles par rapport à celles où la roche contient des rubans/horizons de phyllosilicates riches en phyllosilicates comme la séricite et la chlorite (figure 54A et B). La cartographie met donc en relief différents types de roches et d'altérations hydrothermales, selon les divisions suivantes (figures 59 à 61).

- 1) En bleu pâle, il s'agit des roches sédimentaires, majoritairement gréseuses, où la carbonatation et la silicification dominent.
- 2) En bleu moyen sont regroupées les roches sédimentaires présentant de fines alternances de silicification-carbonatation et séricitisation-chloritisation où les proportions de roches silicifiées et carbonatées sont majoritaires.
- 3) Le bleu plus foncé représente cette fois les roches sédimentaires où les proportions de rubans de séricite et de chlorite sont maintenant majoritaires par rapport à la silice et aux carbonates.
- 4) La couleur gris-noire foncée représente les argilites graphiteuses aussi appelées cisaillement graphiteux.
- 5) Le vert représente les roches volcaniques mafiques altérées en fuchsite, ankérite et silice.
- 6) En jaune sont représentés les dykes de composition felsique séricitisées-silicifiées-ankéritisées.

Sous-jacent aux cartographies (figures 59 à 61), un diagramme à bande montre le total des teneurs aurifères analysées multipliées par l'épaisseur des échantillons (facteur métal) en rainures

faites au cours des développements miniers, correspondant à une série d'échantillons aux 3 mètres. Ce diagramme du facteur métal représente alors la quantité d'or des galeries cartographiées.

Un premier constat s'impose à partir de ces cartes (figures 59 à 61) : il existe des variations abruptes des teneurs aurifères, semblables à l'effet de pépité typique des gisements orogéniques. On peut aussi constater que la quantité d'or dans les galeries est en relation avec l'épaisseur des zones intenses de silicification et de carbonatation représentées en bleu pâle. Les passages minéralisés dépourvus de cette roche altérée sont pauvres en or et le facteur métal y est presque systématiquement sous la barre de la moyenne du gisement, à savoir d'une valeur de 15 selon Salmon et Pelz (2010), ce qui correspond à une moyenne 5 g/t Au sur 3 m. À l'opposé, les meilleures teneurs aurifères se retrouvent presque exclusivement là où de larges passages de silicification ont été cartographiés. Un autre fait notable est que les hautes teneurs et les zones épaisses d'intense silicification et carbonatation sont en association avec un léger changement d'angle (virgation) du contact entre les roches sédimentaires et les roches volcaniques. Les meilleures teneurs et les zones de silicification et carbonatation les plus larges sont préférentiellement retrouvées lorsque le contact définit une virgation, i.e. qu'il est orienté avec une tendance est-sud-est. À l'inverse les zones de basses teneurs sont généralement orientées est-nord-est. Le meilleur exemple se dessine au niveau 300, où la galerie à minerai définit une forme sigmoïde et où les valeurs aurifères sont concentrées dans le centre de la carte. Le phénomène est aussi visible à l'échelle métrique sur le niveau 200.

D'un niveau à l'autre et donc de manière verticale, la minéralisation a le même aspect et s'accompagne généralement de la même séquence de roche. Il s'agit, du nord vers le sud, des volcaniques mafiques et d'intrusions felsiques suivies par la zone d'argilite graphiteuse boudinées et qui, comme le montrent les cartographies, se retrouvent parfois à l'intérieur des volcaniques mafiques. La séquence se poursuit avec une zone de roches sédimentaires fortement silicifiées et carbonatées qui perdure sur des épaisseurs d'ordre métrique, et qui s'enchaîne avec des alternances de roches silicifiées-carbonatées et séricitisées-chloritisées. La zone aurifère se termine par des roches fortement séricitisées et chloritisées. Bien que de nombreuses interceptions et passages montrent la même

séquence, chaque niveau est différent au point de vue de l'orientation ainsi qu'au point de vue des virgations d'ordre métrique. L'orientation des horizons silicifiés-carbonatés avec ceux séricitisés-chloritisés ainsi que l'orientation du contact changent aussi légèrement d'un niveau à l'autre. Le même genre de virgations est observable en sections comme le montre la figure 46.

La cartographie des galeries à minerai a aussi permis de mettre en évidence trois failles mineures au niveau 450. Il s'agit de deux failles d'orientation NNO avec un pendage vertical et causant un décalage dans la minéralisation, et d'une autre faille avec une orientation NNE et un pendage vertical sans décalage apparent des lithologies. Pour les deux niveaux supérieurs, aucune faille n'a été observée.

Il est intéressant de constater que les cartographies soulignent encore une fois l'absence des dykes felsiques dans la partie sédimentaire, tel que souligné dans les chapitres précédents. Ces cartographies ont aussi permis de mettre en évidence que les lithologies sont boudinées ou en domino et que des formes asymétriques se dessinent. Les formes asymétriques sont contradictoires et aucun sens de mouvement clair n'a été établi, mais l'ensemble des formes asymétriques suggère une longue et complexe histoire de déformation.

Bien que la zone contact soit sur son ensemble une zone continue, tout comme le litage et la schistosité présentés dans le chapitre 3, la minéralisation montre de nombreuses virgations d'orientation et de pendage. De plus, de petites failles tardives et cassantes avec des mouvements et orientations diverses affectent le dépôt. Sur la figure 61, deux failles ont été cartographiées montrant de faibles rejets dextres en plan. Aucune référence en section n'a cependant permis de calculer le rejet total de ces failles. Au cours des visites souterraines, de nombreuses failles mineures tardives et cassantes, avec des rejets apparents variant de nulle à métrique et recoupant la minéralisation, ont été notées. Ces failles auront un impact certain lors d'une exploitation éventuelle. Elles ont, dans la plupart des cas, un rejet faible et elles ne sont pas perceptibles avec une maille de forage au 10 m. Il est alors impossible avec les forages de déterminer si un décalage est causé par une virgation progressive de l'orientation ou une faille.

Les cartographies de détail ont permis de visualiser de manière plus précise la distribution des valeurs aurifères et ainsi de mieux comprendre le contrôle et la préparation structurale qu'impose l'orientation du contact entre les roches sédimentaires et les roches volcaniques.

5.4 Typologie des sulfures

Le minerai de la zone contact est composé d'un pourcentage de sulfures variant généralement entre 1 à 3%. Tel que mentionné précédemment dans le NI-43-101 de Salmon et Pelz (2010), le sulfure principal est la pyrite avec des proportions mineures et locales de pyrrhotine et d'arsénopyrite. Dans l'ensemble de la zone, les proportions de sulfures sont constantes. Cependant à l'échelle de l'observation, la distribution des sulfures dans le minerai est hétérogène et se concentre en certains horizons. Dans certaines sections minéralisées, les proportions de sulfures varient de moins de 1% à plus de 15% (figure 62A et C). La pyrite peut aussi être distribuée de manière relativement homogène (figure 62B et D). Les sulfures sont dans la grande majorité à granulométrie fine, avec un diamètre moyen inférieur à 1 mm, communément en agglomérations. Cependant, de la pyrite à granulométrie plus grossière est localement observable. La pyrite qui se retrouve dans le minerai varie, passant de cristalline, cubique et totalement dépourvue de porosité à très poreuse (0 à 15% de porosité), xénomorphe, avec des cristaux aux bordures arrondies et ondulantes (figure 62A à D). La plupart des pyrites à granulométrie grossière sont fortement poreuses. La taille des porosités varie aussi d'un grain de pyrite à l'autre. La granulométrie des pyrites est généralement faible et ne dépasse que rarement 1 mm de diamètre.

Bien que le principal sulfure retrouvé soit de la pyrite, dans les passages les plus riches en sulfures, la pyrrhotine peut se retrouver en proportion de plus de 5% sur des intervalles décimétriques. Dans ces zones, des traces de magnétites sont localement observables dans les cœurs des pyrites (figure 55D). Le minerai contient localement des proportions d'arsénopyrite pouvant atteindre plus de 5% sur des épaisseurs d'ordre décimétrique. Les cristaux d'arsénopyrites sont en majorité à granulométrie très fine, avec un diamètre moyen inférieur à 0,5 mm.

À l'interne (North American Palladium Québec), des essais ont été réalisés afin de tester une corrélation entre le pourcentage de sulfures et la quantité d'or. Les résultats ont démontré que des échantillons avec de fortes proportions de sulfures peuvent être riches ou pauvres en or et que la quantité de sulfures ne permet pas d'estimer la quantité d'or du minerai.

5.5 Chimie des sulfures

Cette section traite de la chimie des sulfures qui ont été analysés par LA-ICP-MS au laboratoire LabMater de l'UQAC. Les données ont été traitées avec le logiciel Lolite. Les proportions issues des analyses au laser ont été déterminées par analyses de standard et par rationalisation par rapport au ^{34}S et au ^{57}Fe . La procédure analytique détaillée est décrite dans Genna et Gaboury (2015). L'analyse du contenu en métaux des sulfures a été réalisée dans le but : 1) d'évaluer la localisation de l'or; 2) de comparer la signature des différentes pyrites, pyrrhotines, arsénopyrites, hématites et magnétites avec le cortège métallique déterminé par le bilan de masses des roches totales; 3) de déterminer les associations métalliques liées à l'événement aurifère; et 4) d'interpréter la genèse et l'évolution du gisement. À ces fins, différentes étapes de triages ont été imposées aux données des pyrites en fonction : 1) des teneurs aurifères; 2) de la granulométrie; 3) du degré de cristallinité; et 4) des proportions de pores. Ces traitements s'imposaient en raison de la variabilité texturale des pyrites et de la variabilité des teneurs aurifères. Étant donné le grand nombre de données à traiter, les diagrammes à moustache ont été utilisés pour visualiser les données. Enfin, la distribution physique de l'or dans la pyrite est considérée à partir des signaux bruts des analyses LA-ICP-MS, à savoir les diagrammes de compte par seconde en fonction du temps.

5.3.1 Pyrite

Une signature métallique correspondant à une augmentation des proportions en Au-As-Ag-Mo-W-Cu est apparue comme étant la caractéristique du minerai au chapitre 4. Cet assemblage a été calculé grâce au bilan de masse des analyses de roches totales réalisées sur quelques échantillons de grauwackes provenant de la zone aurifère et de grauwackes distaux (figure 35). Dans le but d'avoir un

premier aperçu de la signature métallique générale du gisement Vezza, et comme la pyrite est le principal sulfure dans le dépôt, la compilation de toutes les analyses par ligne des pyrites provenant de la zone minéralisée a été réalisée (n=86) et est présentée à la figure 63A. Le diagramme montre en noir la trace du 2^e et 3^e quartile de l'ensemble des analyses LA-ICP-MS faites sur les pyrites provenant de la zone minéralisée du dépôt. Le diagramme présente aussi en gris le maximum et minimum de la limite de détection, calculée par le maximum et le minimum de l'ensemble des données, pour chaque élément. Ce total des analyses de pyrites montre alors une signature d'enrichissement en Au-As-Ag-Pb-Ni-Co-Cu-Zn-Sb.

5.3.1.1 Triage selon les teneurs en or

Cependant, en faisant un triage des pyrites contenant des proportions > 1 ppm, on constate alors quels métaux sont en lien direct avec les enrichissements aurifères. Alors la signature des pyrites riches (n=36, figure 63B) comparée à celles des pyrites pauvres en or (n=50, figure 63C), permet en premier lieu de constater que l'enrichissement en Ni et Co ne corrèle pas directement avec les plus hautes valeurs aurifères. Cependant, en accord avec le bilan de masse des roches totales, le contenu en métaux des pyrites riches en or se corrèle directement avec de plus fortes concentrations d'As-Ag ainsi qu'un plus faible mais toutefois notable enrichissement en Mo-W-Cu. Enfin, un enrichissement supplémentaire en Sb-Sn-Zn-Pb-Bi-Te est associé aux pyrites les plus riches en or, sans toutefois avoir d'équivalent détecté par le bilan de masse.

5.3.1.2 Triage selon la granulométrie

D'un point de vue granulométrique, il faut noter qu'étant donné la granulométrie généralement fine des pyrites, une échelle de subdivisions a été créée afin de trier les pyrites par selon leur taille. Il s'agit : 1) des pyrites grossières (n=18, figure 64C) qui ont plus de 0,75 mm de diamètre ; 2) des pyrites moyennes (n=26, figure 64B) entre 0,25 à 0,75 mm de diamètre; et 3) celles fines (n=34, figure 64A) de moins de 0,25 mm de diamètre. Par ce triage granulométrique des pyrites, on constate que les pyrites de différentes granulométries ont globalement la même signature. Cependant, les pyrites fines sont

faiblement enrichies en métaux par rapport au total des pyrites, essentiellement en Au-Ag-As-W-Mo-Cu-Cr. Au contraire, les pyrites grossières sont légèrement moins enrichies en métaux sauf pour Cr-V. Les pyrites moyennes ont, quant à elles, une signature quasi-identique au total des pyrites. Ces relations permettent de déterminer que la granulométrie des pyrites semble avoir un impact sur les proportions d'or dans le minerai. En outre, les pyrites fines ont tendance à être plus riches en or tandis que les pyrites grossières sont légèrement moins riches.

5.3.1.3 Triage selon le degré de cristallinité

En classifiant les pyrites par degré de cristallinité, on constate premièrement que les pyrites xénomorphes (n=32, figure 65A) et les hypidiomorphes (n=19, figure 65B) ont quasiment la même signature métallique que la moyenne des pyrites du gisement. Par contre, les pyrites idiomorphes (n=14, figure 65C) montrent une légère hausse des proportions de Au-Ag-As-Mo-Zn-Cr. Les pyrites idiomorphes ont alors tendance à être plus riches en or que celles ayant un degré de cristallinité plus bas. Au cours des observations microscopiques, il a été noté que les pyrites les plus fines sont souvent celles avec les formes cristallines les mieux développées.

5.3.1.4 Triage selon la porosité

En classifiant les pyrites selon leur niveau de porosité (figure 66), on constate que celles ayant les plus fortes proportions de porosité (n=19, figure 66C) sont celles contenant le moins d'or. Elles sont aussi faiblement appauvries en Cu-Co et faiblement enrichies en Mo-Mn-Cr-V. Par contre, pour les pyrites avec des proportions de porosité modérée (n=26, figure 66B) et faible (n=33 figure 66A), elles sont légèrement enrichies en métaux, essentiellement en Au-Ag-Sn. Étant donné que les porosités sont en majeure partie composées de minéraux silicatés, les porosités constituent donc de la dilution et les pyrites ayant plus de porosité, contiennent moins d'or. On peut alors déduire de ces analyses que l'or est majoritairement dans la structure de la pyrite et non en inclusions libres dans et aux bordures du sulfure ou dans les porosités. À l'inverse, on pourrait penser que les métaux Mo-Mn-Cr-V, qui

ressortent faiblement dans les analyses des pyrites les plus poreuses, pourraient se localiser aux bordures des pyrites et dans les porosités ou même directement dans les silicates.

5.3.1.5 Constat sur la chimie des pyrites

Les tris sur les pyrites analysées permettent de contraindre certains paramètres à propos du système hydrothermal de Vezza. Premièrement, les triages par granulométrie et degré de cristallinité ont montré que les pyrites fines et cristallines ont une tendance à être plus riches en or. L'or est enrichi dans les pyrites les moins poreuses. Enfin, les pyrites fines, les pyrites idiomorphes et la comparaison entre les pyrites contenant plus de 1 ppm d'or avec celles contenant moins de 1 ppm d'or permet de déterminer une signature métallique générale du gisement Vezza qui correspond à Au-Ag-As-W-Mo-Pb-Sb-Sn-Bi-Cu-Zn.

5.3.2 Pyrrhotine

Au cours de cette étude, des grains de pyrrhotine (n=15) ont aussi été soumis à l'analyse par LA-ICP-MS (figure 67A). En regardant la signature du 2^e et 3^e quartiles, comme précédemment pour les pyrites, on observe premièrement qu'elles sont dépourvues en Au ainsi qu'en Ag-As-W-Te-Sb-Cu-Zn par rapport aux pyrites. Toutefois, de faibles pics en Pb et As, semblables à ceux notés dans les pyrites, sont quand même présents. Les éléments Bi-Ga-Ge-Ni-Co-Mn-Cr-V ont sensiblement les mêmes proportions que pour les pyrites. Les pyrrhotines sont aussi faiblement enrichies en Sn par rapport aux pyrites.

5.3.3 Arsénopyrite

Les arsénopyrites (n=20, figure 67B), par comparaison aux pyrites, sont généralement un peu plus riches en or, mais aussi en Bi-W-Te-Sb-Ag-Mo-Co où les enrichissements en Co et Sb se démarquent. D'une manière générale, la signature est semblable à celles des pyrites avec sensiblement les mêmes pics de métaux, dont l'or (figure 67C). En effectuant un triage selon la teneur aurifère

(supérieure et inférieure à 1 ppm Au), on dégage les arsénopyrites riches en Au (n=9, figure 68A) de celles moins riches (n=11, figure 68B). Il est intéressant de constater que le seul enrichissement lié à l'or est le Pb. Les arsénopyrites contenant le plus d'or sont à l'inverse légèrement appauvries en W-Mo-Zn-Cu-Ni-Co-Cr par rapport à celles avec moins de 1 ppm d'or. Néanmoins, ceci démontre que la signature des arsénopyrites est relativement homogène.

5.3.4 Oxydes de fer

Pour les magnétites (n=6) et les hématites (n=5) présentées à la figure 68C, elles montrent un bruit de fond semblable aux pyrites pour certains éléments dont le Ni-Co-V-Cr-Mn-Sn-Sb. De plus, un léger enrichissement en Pb-Zn, et encore plus faiblement en Cu, est notable, mais il est cependant plus faible que dans les pyrites. Les oxydes de fer ne contiennent aucune trace de Au-Ag-As-Bi-Te-Mo-Se-Hg. Quoique la signature des magnétites et des hématites soit semblable, les hématites montrent un plus fort enrichissement en Zn et W ainsi qu'un pic en Ni similaire à celui des pyrites. On peut alors conclure qu'une faible signature en Pb-Sb-Sn-Zn-Mn-Cr-V est notable dans les hématites et magnétites et que cette signature montre les mêmes proportions que celles enregistrées dans les pyrites provenant de la zone minéralisée.

5.3.5 Pyrite à l'extérieur de la zone minéralisée

Les pyrites à l'extérieur de la zone minéralisée sont d'un intérêt premier pour contraindre la signature géochimique associée à l'événement aurifère. À cette fin, 3 pyrites ont été analysées : 2 provenant de formations de fer et une provenant de shales graphiteux.

Les 2 pyrites analysées dans les formations de fer sont en somme le reflet de la transformation des magnétites et hématites en sulfures. Alors, en comparant les analyses de pyrites dans les formations de fer avec le contenu initial des hématites et magnétites analysées, on peut alors déterminer les métaux spécifiquement apportés par les fluides hydrothermaux. Selon ces données présentées à la figure 69, on remarque que seul un faible ajout en As est notable et que l'ensemble des

autres éléments définissant le bruit de fond est similaire à celui des magnétites et hématites présenté à la figure 68C. Au final, la signature de ces deux pyrites est semblable à celle définie par le total des pyrites provenant de la zone minéralisées (figure 69), mais en étant appauvries en Cu-As-Mo-Ag-Au-W. Ces derniers métaux définissent, en grande partie, la signature métallique du gisement Vezza. Les pyrites dans les formations de fer représentent donc une simple sulfuration des oxydes de fer, tout en conservant la signature primaire des oxydes de fer. Une des pyrites nodulaires (figure 70A) retrouvée en bandes décimétriques à travers les basaltes en coussins a aussi été soumise à l'analyse par LA-ICP-MS. Elle a été analysée par une ligne de plus de 11 mm, correspondant à une analyse de plus de 30 minutes. Deux autres lignes plus courtes sur des pyrites nodulaires plus petites provenant de la même lame mince ont aussi été réalisées. Avec ces analyses (figure 70B), on constate que la signature de ces pyrites nodulaires est similaire au total des pyrites provenant de la zone minéralisée. Les différences notables par rapport à la moyenne des pyrites sont des pics plus accentués en Mn-Zn-Sb, un appauvrissement en Cr-V et des proportions de Au-As-W moins fortes. L'analyse de la plus grosse pyrite nodulaire a cependant donné des valeurs aurifères atteignant 0,84 ppm dans le meilleur intervalle (figure 71) pour une moyenne de 0,25 ppm Au pour l'ensemble de la pyrite. À l'inverse des pyrites dans les formations de fer, la pyrite nodulaire présente une signature plus proche du signal hydrothermal aurifère. Deux possibilités peuvent être émises à ce stade : 1) les pyrites nodulaires sont primaires avec une composition en métaux similaire à la signature métallique du gisement Vezza; et 2) elles ont été imprégnées par les fluides hydrothermaux aurifères.

5.3.6 Distribution physique de l'or dans les pyrites

L'étude des sulfures au LA-ICP-MS permet notamment de déterminer l'évolution des proportions des divers éléments analysés au cours de la traverse du laser dans le minéral. En effet, comme les lignes d'analyses traversent de part et d'autre le cristal, d'éventuelles zonalités chimiques ou des inclusions seront perceptibles par les variations des signaux d'éléments. Une sélection des données brutes en compte par seconde est présentée aux figures 72 à 74. Ces figures permettent de

visualiser plusieurs phénomènes, dont des zonalités métalliques selon le cœur et les bordures et les enrichissements en métaux en lien avec l'or.

Les analyses effectuées ont premièrement permis de mettre en évidence des zonalités de la distribution de l'or dans certaines pyrites. En observant différents éléments sur la même analyse de pyrite (figure 72), on constate que plusieurs éléments varient de manière proportionnelle avec l'or, dont Pb, Ag, Sb, As, Te et W. De plus, il y a une zonalité de l'or qui est perceptible aux bordures, qui se manifeste par des teneurs (CPS) plus faibles en marge de la pyrite. La figure 74 montre d'autres exemples de pyrites où l'or varie selon le cœur et les bordures. Dans ces cas, l'or est généralement appauvri aux bordures et enrichi au cœur. De plus, les éléments sélectionnés Pb, As, Sb et Ag (figure 73) montrent des variations proportionnelles avec l'or, indiquant que cette association est commune dans les pyrites et significative au niveau génétique. La figure 74 montre différentes pyrites où As et Au sont dépourvues aux bordures de la pyrite, confirmant que la zonalité aurifère au cœur des pyrites est un phénomène récurrent. La cartographie au LA-ICP-MS d'une pyrite (figure 75) confirme cette zonalité où l'or est enrichi au cœur de la pyrite avec des enrichissements en As, Ag, Pb, W, Sn, Cu et Bi, alors que la bordure est enrichie en Ni, Co et Sn mais déficiente en or. Pour caractériser cette zonalité globalement, une comparaison des bordures et des cœurs a été réalisée. La figure 76 montre le ratio d'une sélection des 22 pyrites avec les plus belles zonalités en or, où à partir du signal brut, les zones riches et pauvres en or ont été séparées pour chaque pyrite. Ce traitement permet de déterminer qu'à l'intérieur même des pyrites, les zones internes riches en or sont également enrichies en métaux. Il s'agit de l'arsénique (As) essentiellement, et en moindre proportion de la suite Ag-Pb-Sb-Cu-Bi avec des enrichissements plus marginaux en Te et W. Cette zonalité de l'or ainsi que la signature métallique (Au, As, Ag, Pb, W, Sn, Cu et Bi) concordent avec la distribution des métaux révélée par la cartographie de la pyrite (figure 75).

Enfin, dans la plupart des pyrites analysées, le signal analytique de l'or définit essentiellement de longs plateaux avec des pics erratiques (figures 72 à 74). Globalement, moins de 30% de l'or se

retrouve sous la forme de pics. Ceci confirme que l'or est en majeure partie finement distribué dans la structure de la pyrite et non sous la forme d'inclusion d'or libre.

5.4. Inclusions fluides

5.4.1 Pétrologie des inclusions fluides

Afin d'améliorer l'état des connaissances sur la composition des fluides hydrothermaux, une étude sommaire des inclusions fluides préservées dans le quartz des échantillons a été réalisée. Premièrement, il faut noter que les inclusions fluides sont rares et qu'elles se retrouvent en faible proportion. Au cours de l'analyse pétrographique de l'ensemble des lames minces, deux familles principales ont été identifiées. La première famille constitue les plus grosses inclusions. Elles sont d'une couleur sombre et en forme de flammes et interprétées comme des inclusions à gaz. Elles constituent la première famille d'inclusion (type 1, figure 77). Les autres inclusions sont pâles, avec une forme ronde et de taille plus fine. Elles sont interprétées comme des inclusions aqueuses (type 2, figure 77). La majorité des inclusions fluides est de type 1. Les inclusions de types 1 et 2 coexistent rarement sur les mêmes traînées et les inclusions biphasées (gaz-aqueuse) sont rares. Ainsi, on peut conclure que les évidences de séparation de phases ne sont pas perceptibles dans le minerai de la mine Vezza, impliquant que l'effervescence n'est pas le mécanisme de précipitation prépondérant (Gaboury 2011).

5.4.2 Composition en volatiles des inclusions fluides

Les inclusions fluides ont été analysées par spectrométrie de masse au LAMEQ selon la méthode de Gaboury et al. (2008). Les résultats obtenus du contenu en volatiles des inclusions fluides coïncident avec les observations pétrographiques quant aux proportions d'inclusions à gaz. Le résultat des trois analyses (figure 78) montre que les fluides sont dominés par trois composantes majeures : le CO₂, le CH₄ et H₂O qui se retrouvent dans les mêmes proportions relatives pour les trois échantillons. On retrouve aussi de l'azote (N₂) dans les trois échantillons. Les deux échantillons contenant le plus d'inclusions (V-11-08, V-13-01), contiennent également de l'argon (Ar) et de l'éthane (C₂H₆). Les trois

échantillons sont entièrement dépourvus de SO_2 et H_2S . En comparaison avec les résultats de Beaufor issus de la même technique analytique (figure 79), le contenu en volatiles des inclusions fluides de Vezza est pauvre en H_2O (un ordre de grandeur plus faible), riche en CH_4 (un ordre de grandeur plus fort), semblable en CO_2 (même ordre de grandeur) et sans soufre. De plus, les résultats obtenus pour la mine Beaufor, montrent clairement deux pics distincts de décrépitation (figure 79), interprétés comme étant représentatifs des inclusions riches en eau (300-350°C) et de celles riches en gaz (400-450°C) (Gaboury, 2011). Ce phénomène est absent dans les analyses présentées à la figure 78. Cependant, la présence de C_2H_6 est considérée comme une indication de fluides générés par le métamorphisme en profondeur de shales riches en matière organique et pyrite primaire (Gaboury, 2013). Dans le modèle orogénique (Large et al., 2011, Gaboury, 2013; Tomkins, 2013), l'or tire sa source des pyrites primaires et la présence de C_2H_6 est considérée comme diagnostique de cette source (Gaboury, 2013).

5.5 Synthèse

Cette section permet d'introduire un sommaire des éléments importants de ce chapitre. Premièrement, les observations microscopiques et macroscopiques du minerai montrent qu'il y a un nombre restreint de veines et veinules reliées à la minéralisation. La silicification et la carbonatation associées à la minéralisation aurifère sont essentiellement imprégnées dans les roches minéralisées, impliquant un processus de minéralisation par remplacement. Cette particularité de Vezza est importante par rapport aux gisements orogéniques classiques qui sont communément sous la forme de filons de quartz.

Deuxièmement, la section longitudinale simplifiée de la figure 57 montre la correspondance entre l'allongement préférentiel de la minéralisation et les mesures de linéations d'étirement et la linéation d'intersections présentées dans le chapitre 3. Ensuite, les cartographies des excavations souterraines ont révélé un second type de contrôle lié aux changements d'orientations (virgations) du contact entre les roches volcaniques et sédimentaires, où les zones de contacts orientés ESE sont plus

fortement silicifiées et minéralisées par rapport à celles ENE. On peut alors conclure que l’empreinte de la déformation principale a contrôlé la circulation des fluides aurifères selon les anisotropies verticales parallèles aux linéations d’étirement et d’intersection. Cette structuration implique un mouvement inverse du bloc sud (où sont les roches sédimentaires) sur le bloc nord (où sont les roches volcaniques). Toutefois, en considérant les cartographies en plan, il apparaît clair que le contrôle sur la minéralisation, qui se manifeste par des zones d’épaississement, est lié à des virgations de l’orientation du contact favorables. Ces zones d’épaississement (dilatation) peuvent s’expliquer par des mouvements coulissants dextres. Ce double contrôle sur la minéralisation peut s’expliquer simplement par l’héritage d’une structuration importante des roches hôtes selon un étirement vertical prononcé (L_E). Le parallélisme de la linéation d’intersection (L_{int}) entre S_p et S_{p+1} avec L_E a certainement accentué l’anisotropie verticale et la perméabilité le long de cet axe durant le coulissage dextre relié à l’épisode de déformation D2. Ces facteurs de contrôles constituent donc des critères importants pour l’exploration régionale et les extensions de la mine.

Troisièmement, les différents traitements opérés sur les analyses LA-ICP-MS des pyrites ont permis de préciser la signature et l’évolution du système hydrothermal. L’enrichissement en or est principalement au cœur des pyrites et s’accompagne d’un enrichissement en As-Ag-Pb-Sb-Cu-Bi \pm Te et \pm W. Les bordures des pyrites sont appauvries en or mais enrichies en Co-Ni.

Le traitement global des pyrites en fonction de leur teneur en or fait ressortir clairement que l’enrichissement en Co-Ni des pyrites n’est pas lié avec l’événement minéralisateur aurifère. D’une part, les enrichissements en Mo-Mn-Cr-V sont associés aux pyrites les plus poreuses qui sont également celles les moins riches en d’or. D’autre part, le fait que la suite d’éléments Ni-Co-Mn-Cr-V ait sensiblement les mêmes proportions dans les pyrrhotites stériles en or que dans pour les pyrites, indique clairement que ces métaux ne sont pas liés à l’événement aurifère. L’analyse d’une pyrite distale et des oxydes de fer confirme que les pyrites minéralisées ont globalement un bruit de fond similaire en V-Cr-Mn-Sn-Sb, alors que la suite de métaux typique de l’événement aurifère (Ag-Pb-Sb-Cu-Bi \pm Te et \pm W) est absente.

Le signal brut (CPS vs temps) du LA-ICP-MS a aussi permis de mettre en évidence la distribution de l'or en plateau dans les pyrites et l'absence de pic dans les diagrammes, indiquant que l'or est finement disséminé dans la pyrite. Cette distribution de l'or est confirmée par les observations macroscopique et microscopique soulignant que l'or libre et visible est quasi-inexistant à Vezza.

Enfin, les fluides sont riches en gaz, essentiellement en CO₂, pauvres en H₂O et monophasés. Ces caractéristiques traduisent un système hydrothermal sous forte pression où la précipitation de l'or ne s'est pas produite par changement de pression et séparation de phase mais plutôt par remplacement des oxydes de fer.



Figure 52 : Section longitudinale simplifiée du dépôt Veza montrant en lignes pointillées noires les trois sections considérées lors de cette étude. La distribution des teneurs Au est représentée par les couleurs rouge (plus de 5ppm), jaune (de 1 à 5ppm exclusivement) et bleu (moins de 1ppm). Les lignes en blanc illustrent la trace des niveaux d'excavations souterraines.

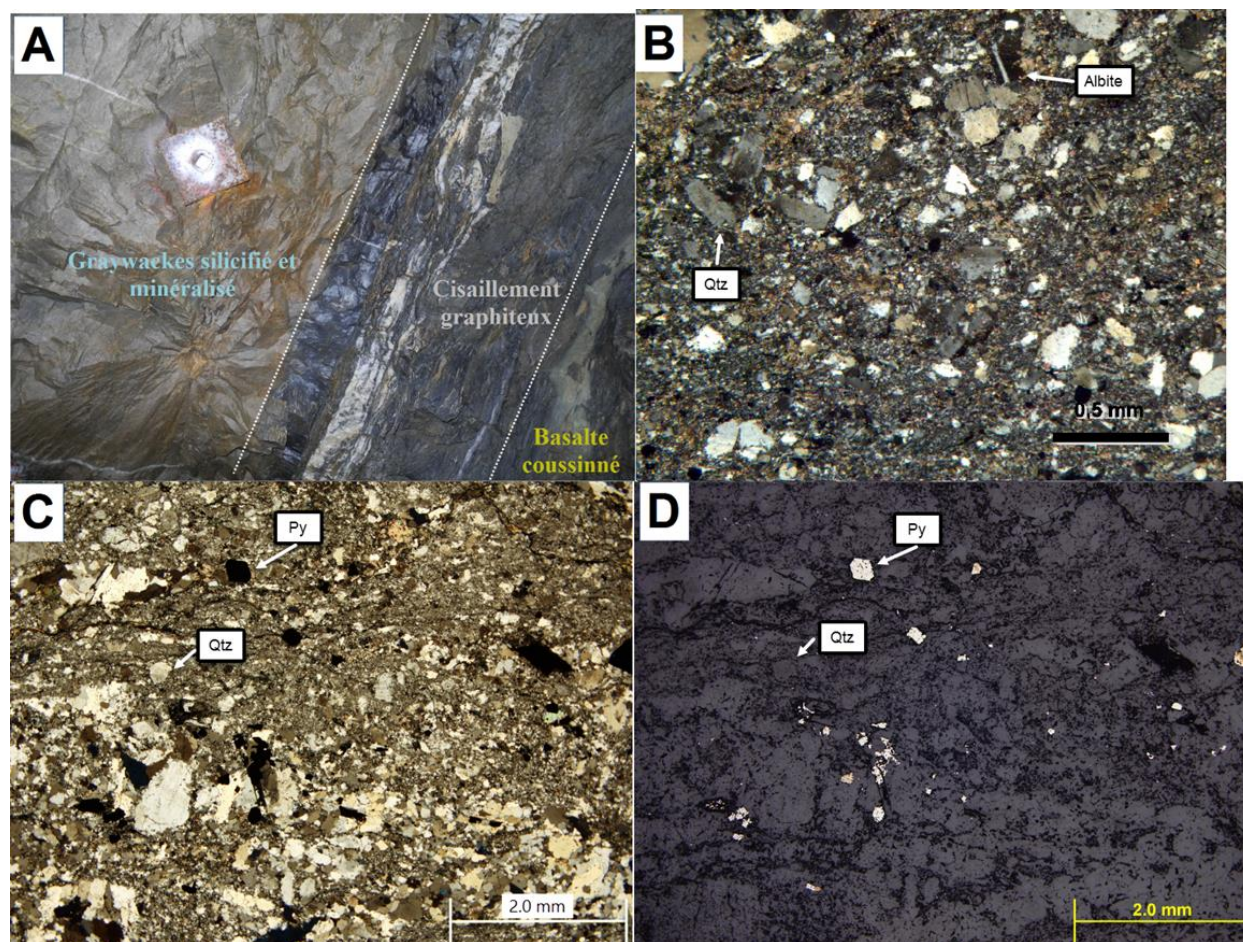


Figure 53 : Photographies de la minéralisation. A). Aspect général de la séquence typique minéralisée avec gruwacke d'aspect massif en contact le cisaillement graphiteux lui-même en contact avec les basaltes, galerie à minerai niveau 300; B et C) Exemple de gruwackes d'aspect massif en lames minces, lumière transmise polarisée, échantillon V-12-106 et V-11-07; D) Exemple d'un gruwacke d'aspect massif en lumière réfléchie, échantillon V-11-07.

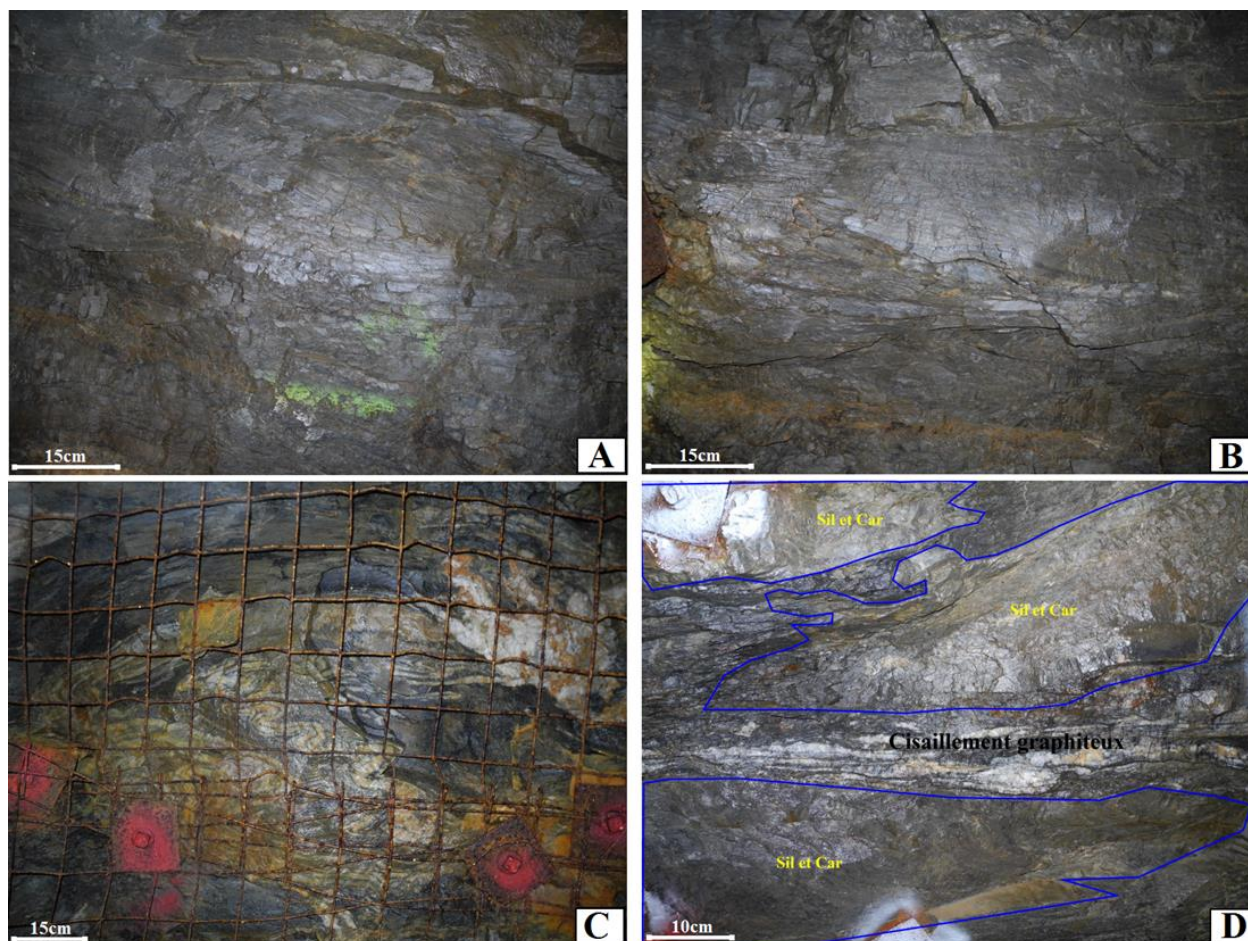


Figure 54 : Photographies macroscopiques de la minéralisation avec un aspect rubané prise dans une galerie à minerai, niveau 200 (A et B). Photographie de veines de quartz-carbonates-chlorite-tourmaline plissées au sein d'un cisaillement graphiteux en contact avec la zone minéralisée d'une galerie à minerai, niveau 300 (C). Photographie d'une galerie à minerai montrant des lambeaux de grauwwacke silicifié et carbonaté dans le cisaillement graphiteux, sous-niveau 150 (D).

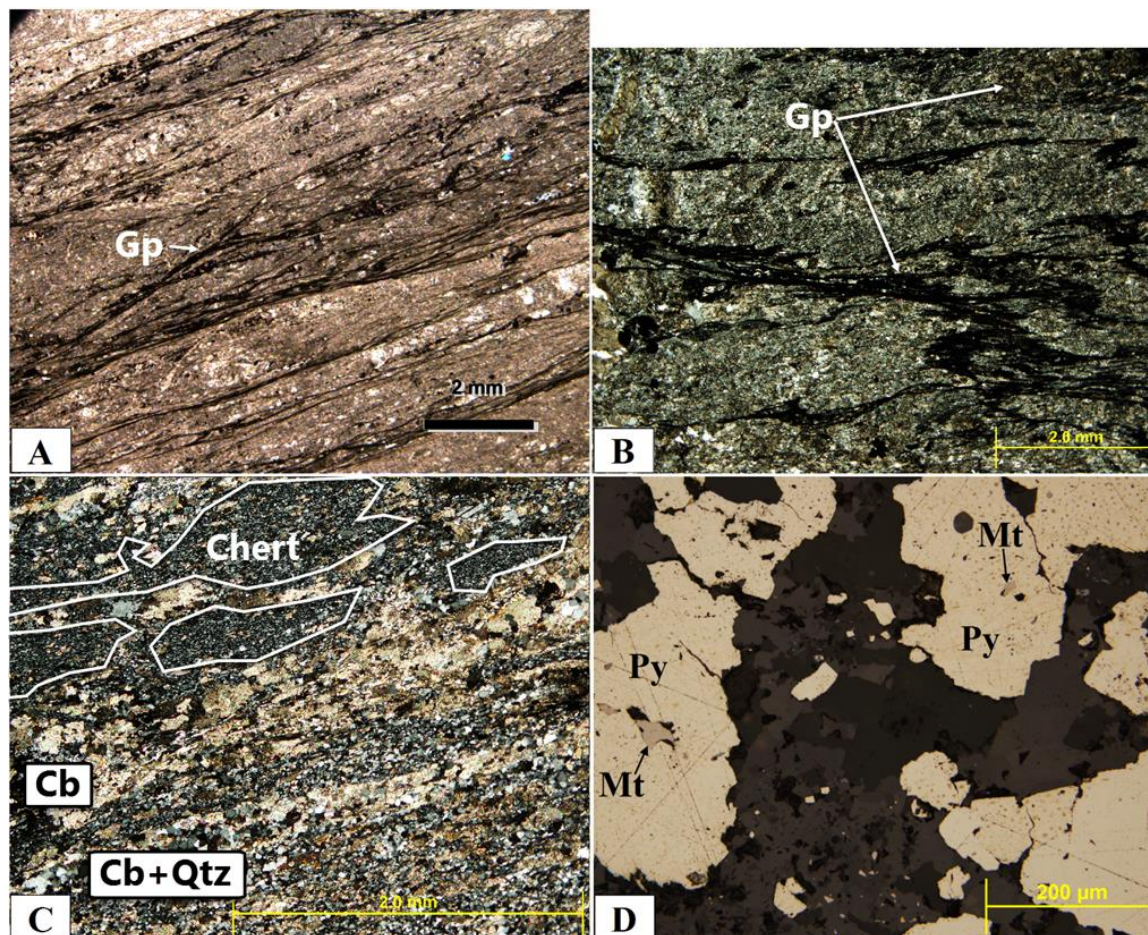


Figure 55 : Cisaillement graphiteux en lumière transmise au microscope montrant le style de distribution en filonnets (matériel noirâtre) (A, échantillon V-12-136) ou pénétrante (B, échantillon V-12-57) du graphite. Roche sédimentaire chertreuse recoupée par des veinules de carbonates-quartz-pyrite formant une brèche (C, échantillon V-11-31). Pyrite à texture poecilitique avec inclusions de magnétite (D, échantillon V-11-31).

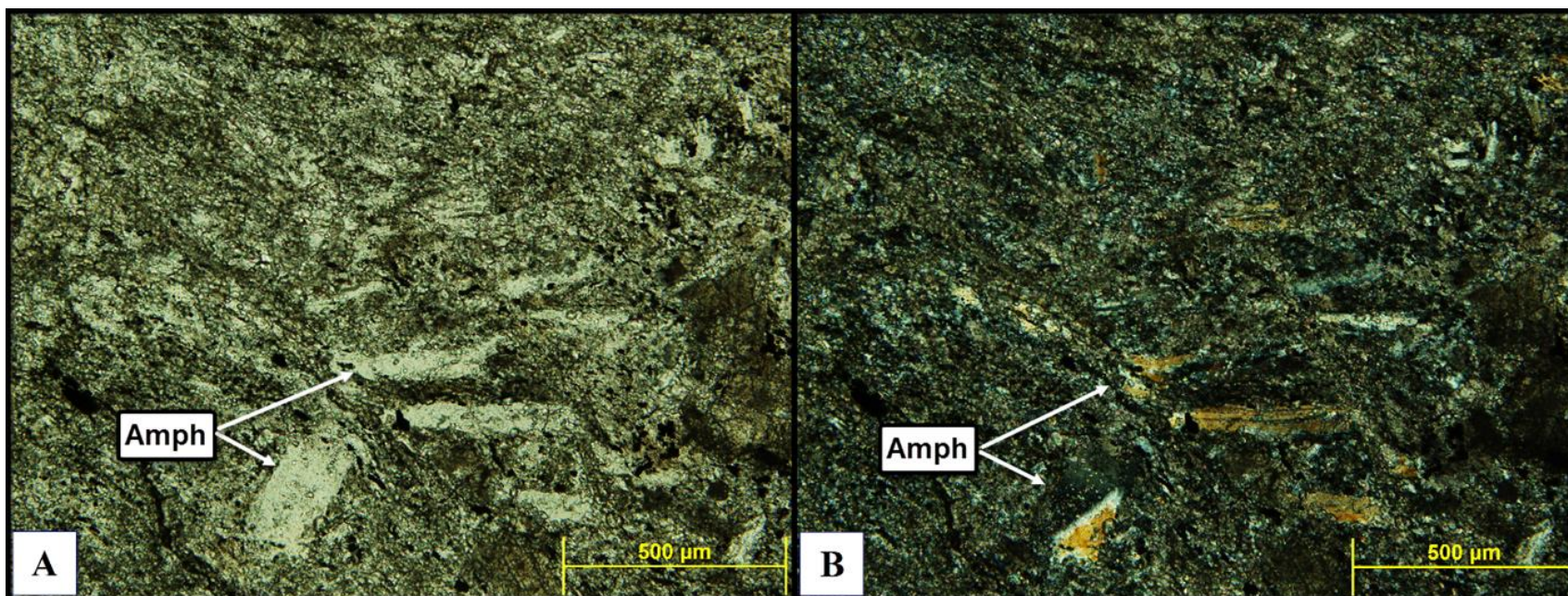


Figure 56 : Photographies au microscope en lumière naturelle (A) et polarisée (B), d'amphiboles porphyroblastiques dans un graywacke minéralisé, échantillon V-12-162.



Figure 57 : Section longitudinale simplifiée montrant les axes d'allongement de la minéralisation aux linéations d'étirement mesurées dans les excavations souterraines et à la linéation d'intersection entre S_p et S_{p+1} . La distribution des teneurs Au est représentée par les couleurs rouge (plus de 5ppm), jaune (de 1 à 5ppm exclusivement) et bleu (moins de 1ppm).

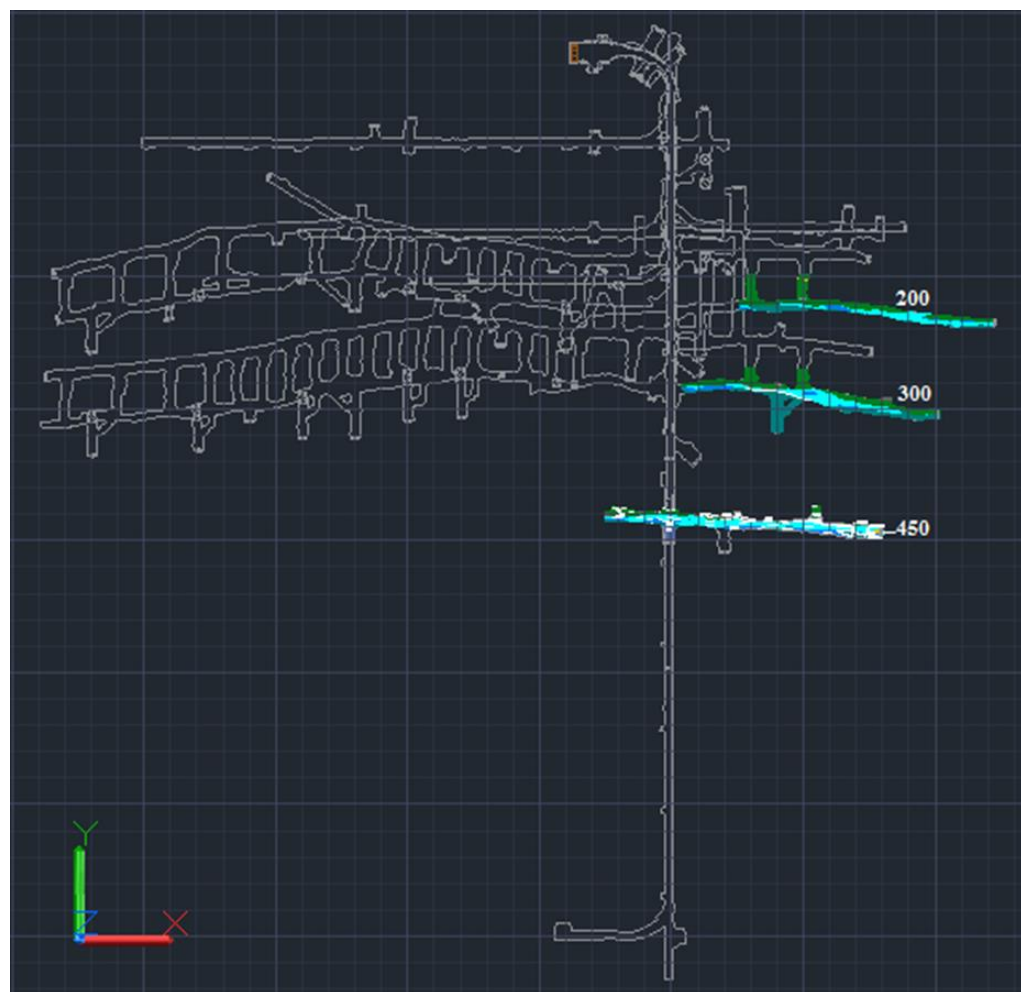


Figure 58 : Vue en plan des différents niveaux de la mine et des galeries minéralisées cartographiées.

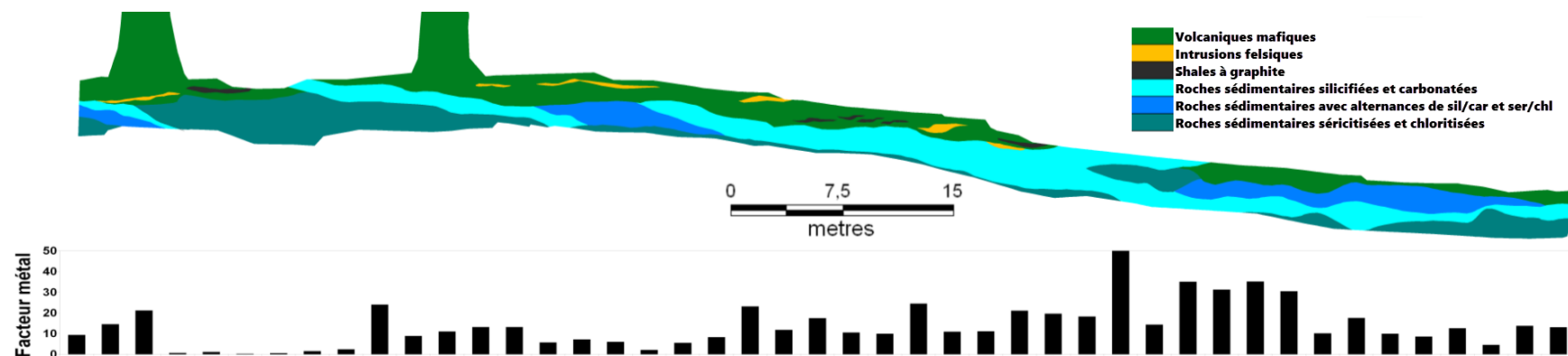


Figure 59 : Cartographie et facteur métal du niveau 200.

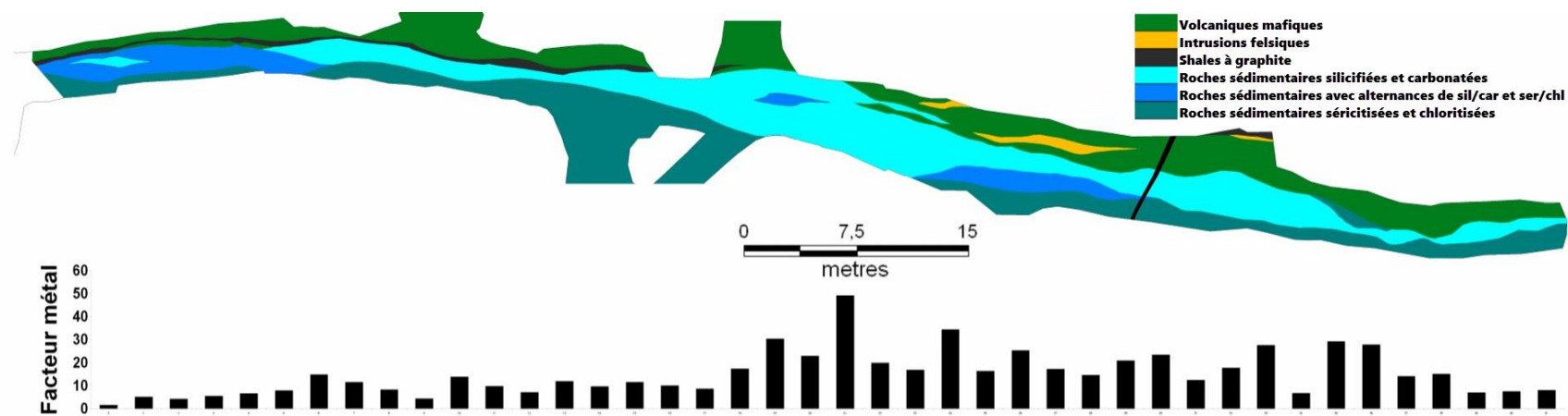


Figure 60 : Cartographie et facteur métal du niveau 300.

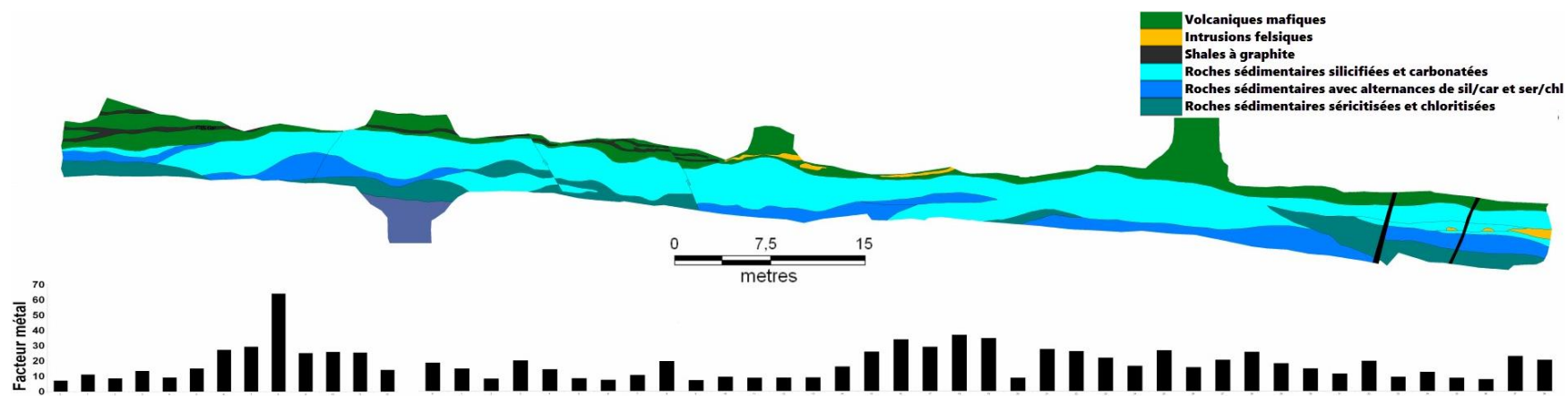


Figure 61 : Cartographie et facteur métal du niveau 450.

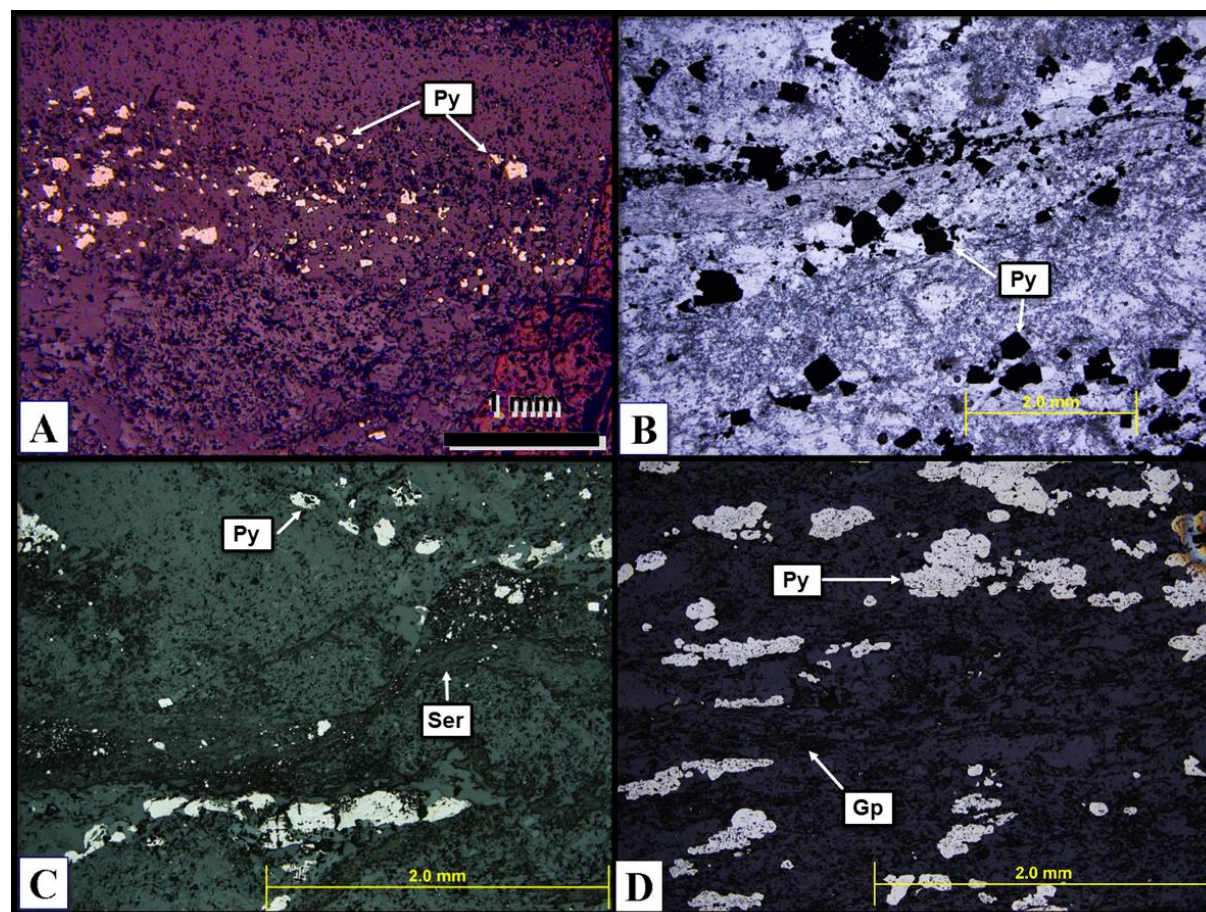


Figure 62 : Photographies microscopiques de différents échantillons minéralisés montrant la pyrite contenue dans le minerai. A) Minerai fortement silicifié et carbonaté avec pyrite concentrée en fins horizons, échantillon V-11-07; B) Chert minéralisé avec pyrite disséminée, échantillon V-12-53; C) Minerai avec alternance d'horizons silicifiés-carbonatés et séricitisés montrant une distribution hétérogène de la pyrite, échantillon V-12-08; D) Argilite graphiteuse avec pyrite distribuée de manière homogène, échantillon V-12-40.

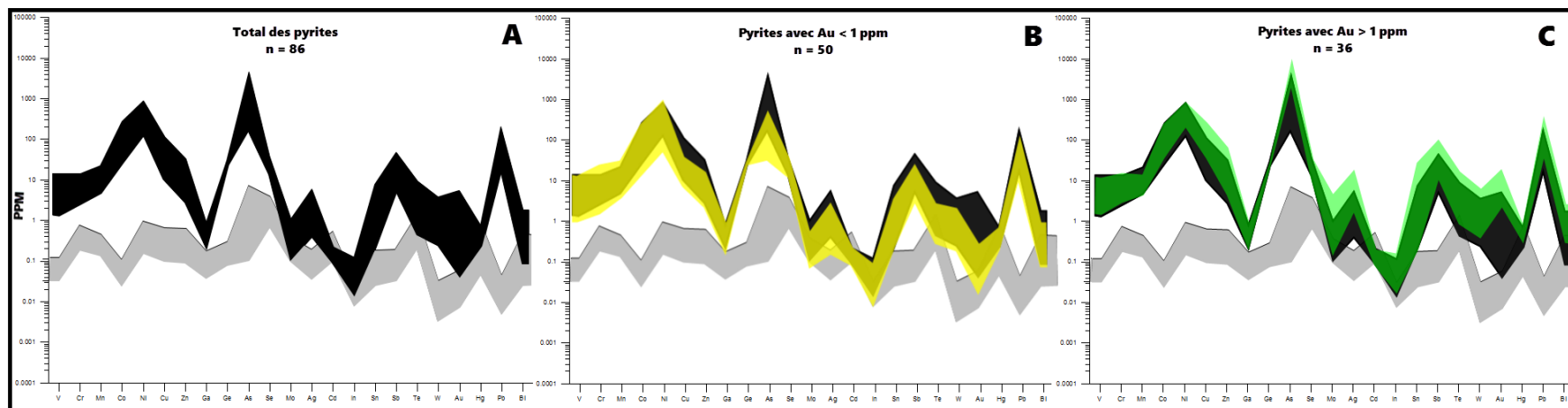


Figure 63 : Diagramme multiéléments des pyrites totales provenant de la zone minéralisée (A) et des pyrites triées selon les proportions d'or (B et C). La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.

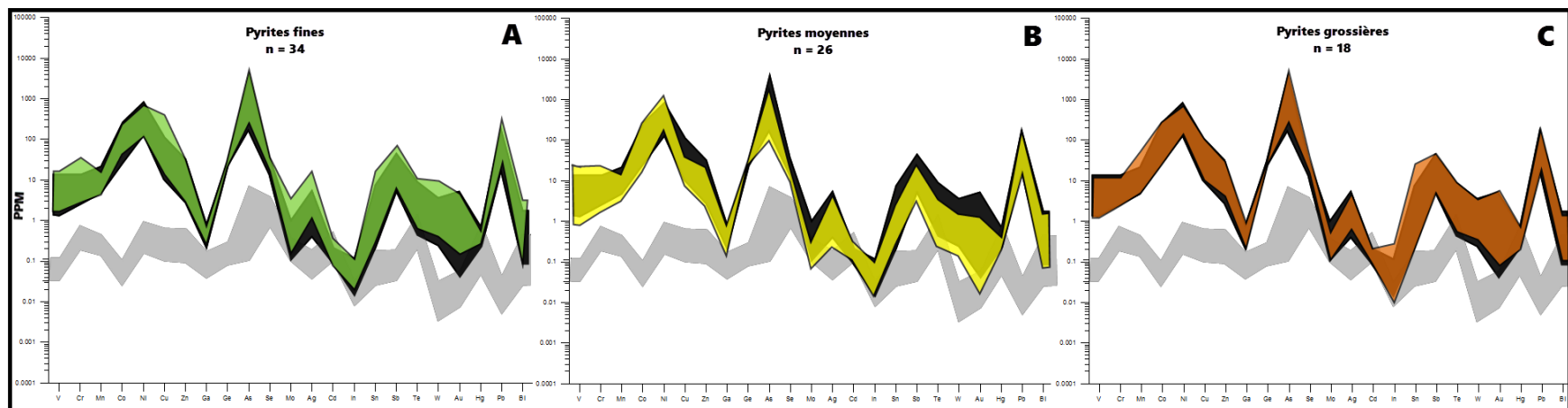


Figure 64 : Diagramme multiéléments des pyrites provenant de la zone minéralisée triées par granulométrie. La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.

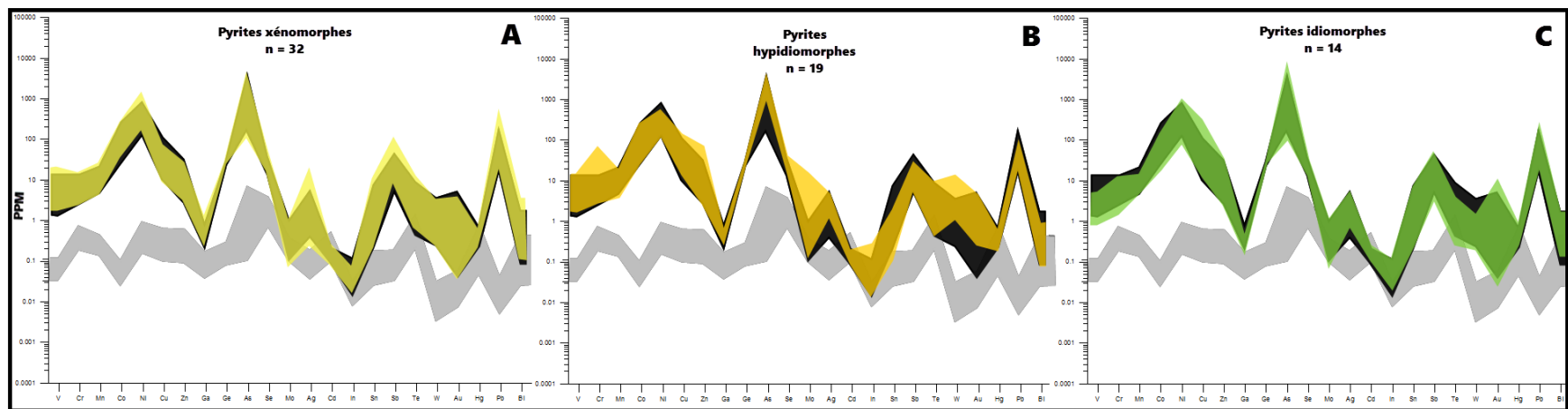


Figure 65 : Diagramme multiéléments des pyrites provenant de la zone minéralisée triées par degrés de cristallinité. La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.

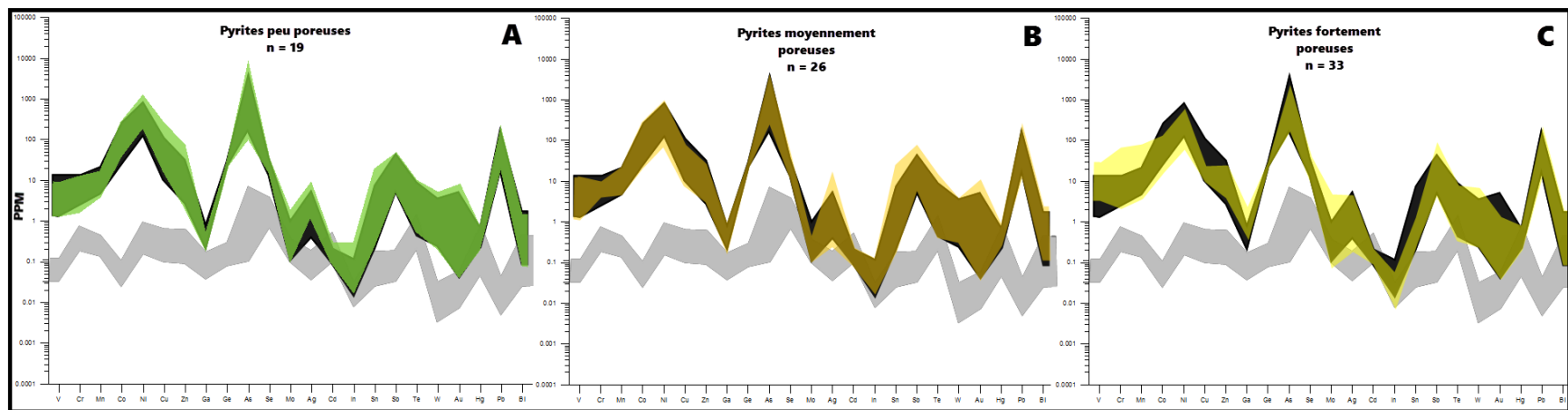


Figure 66 : Diagrammes multiéléments des pyrites provenant de la zone minéralisée triées par proportion de porosité. La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.

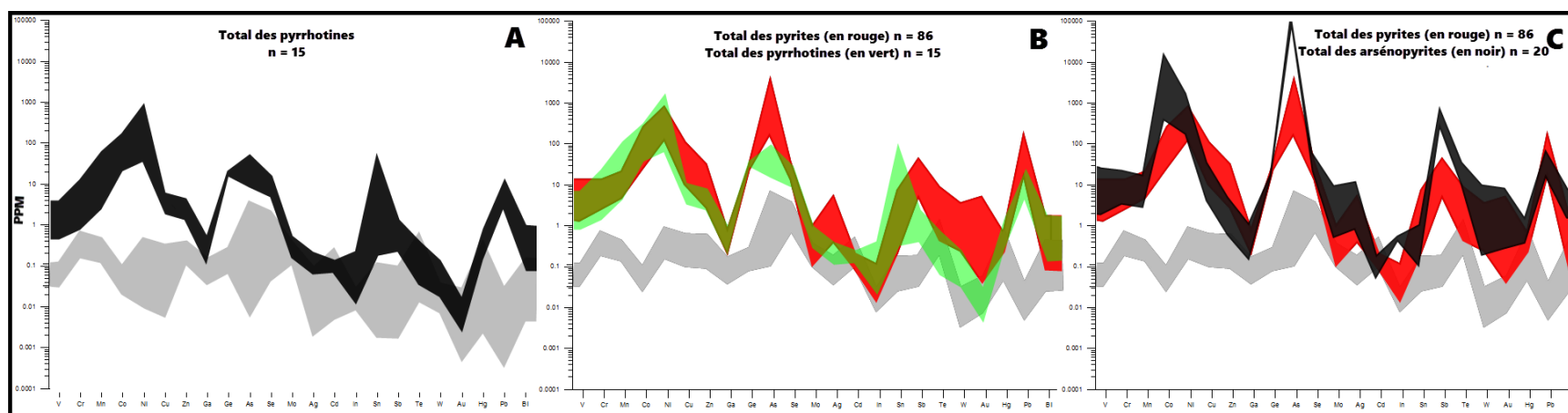


Figure 67 : A) Diagrammes multiéléments des pyrrhotines; B) Diagramme multiéléments du total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en rouge) et des pyrrhotines (en vert); C) Diagramme multiéléments total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en rouge) et des arsénopyrites (en noir). La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.

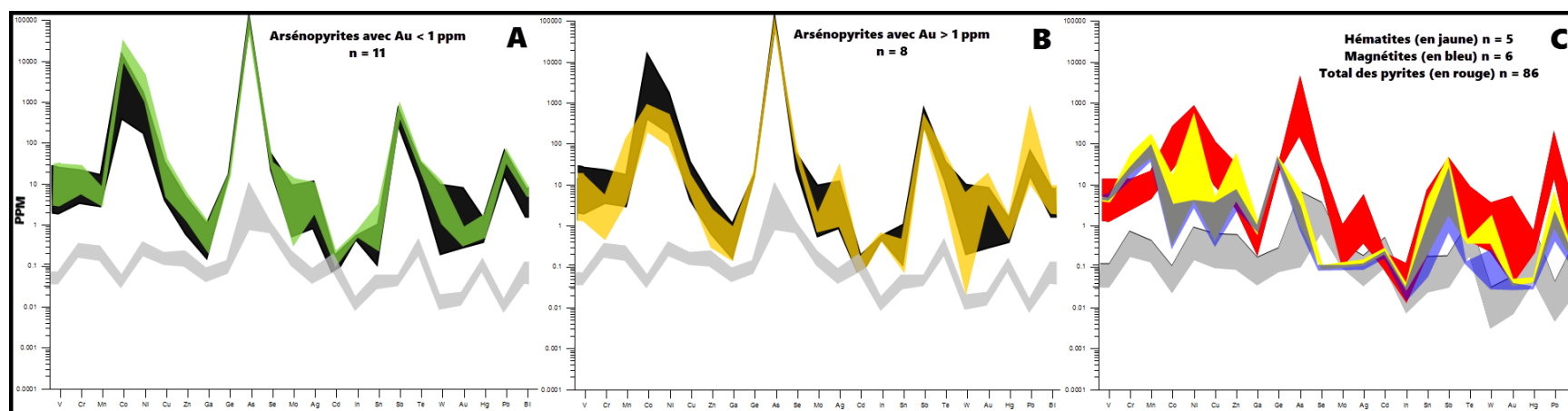


Figure 68 : A) Total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en noir) et arsénopyrite avec moins de 1 ppm Au (en vert); B) Total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en noir) et arsénopyrites avec plus de 1 ppm Au (en orange); C) Hématites (en jaune), magnétite (en bleu) et total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en rouge) La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.

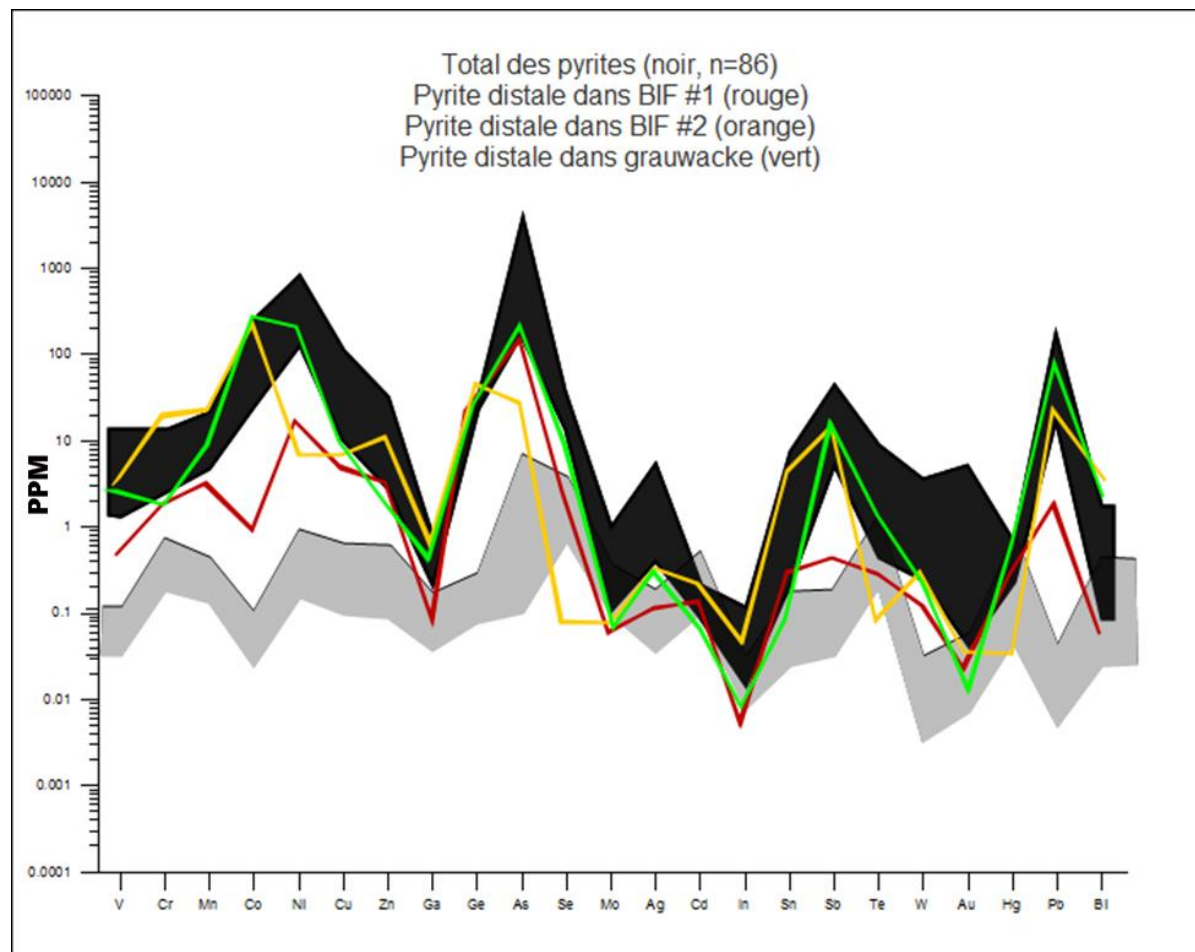


Figure 69 : Diagramme multiéléments montrant la signature de trois pyrites distales à la minéralisation prise dans une formation de fer (lignes orange et rouge), dans un grauwacke (ligne verte) et du total des pyrites provenant de la zone minéralisée (en noir). La zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.

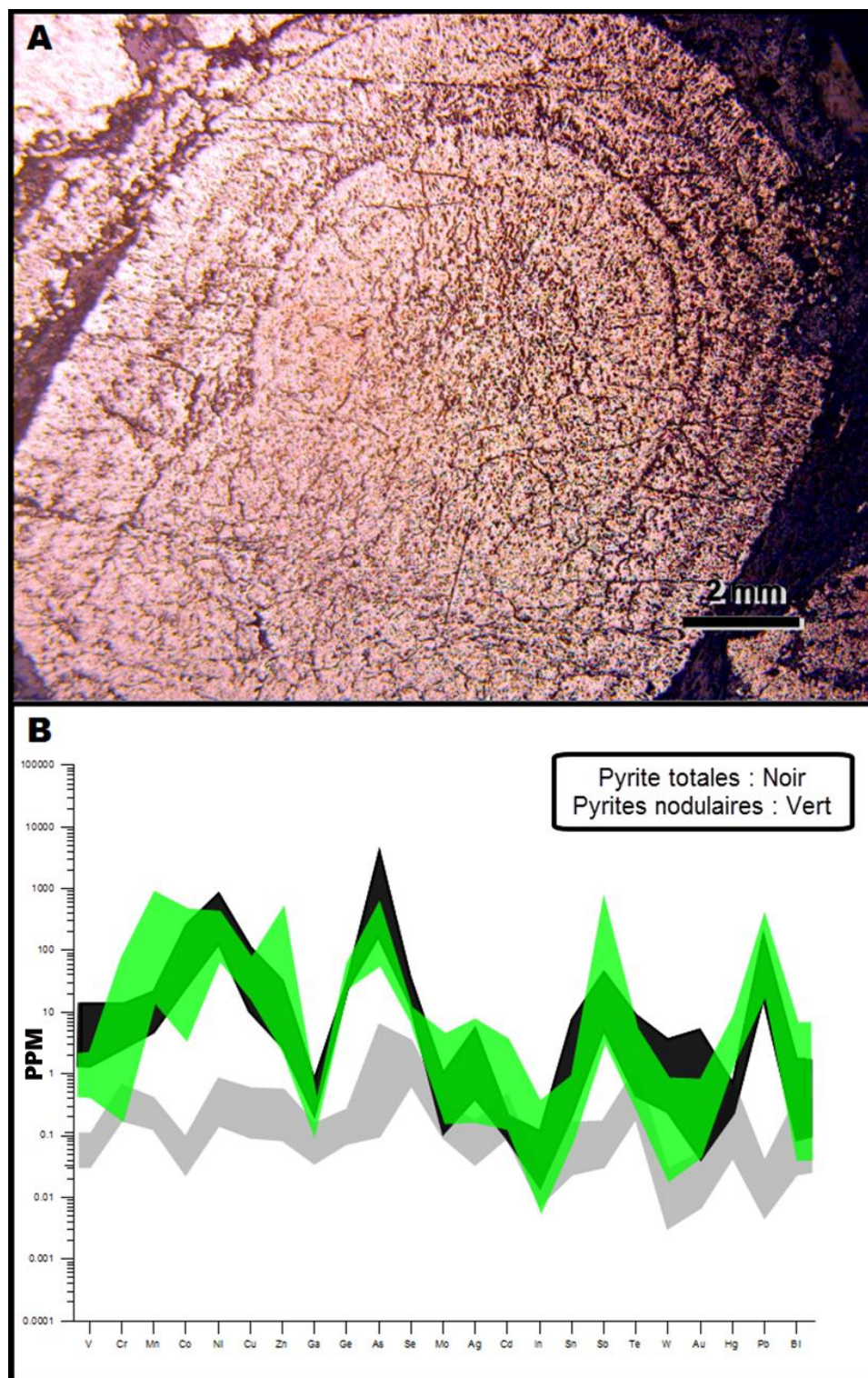


Figure 70 : A) Photographie microscopique d'une pyrite nodulaire au sein d'un shale graphiteux dans les basaltes, échantillon V-11-13; B) Diagramme multiéléments montrant la signature des pyrites nodulaires et du total des pyrites provenant de la zone minéralisée où la zone en gris correspond aux limites de détection calculées pour chaque élément.

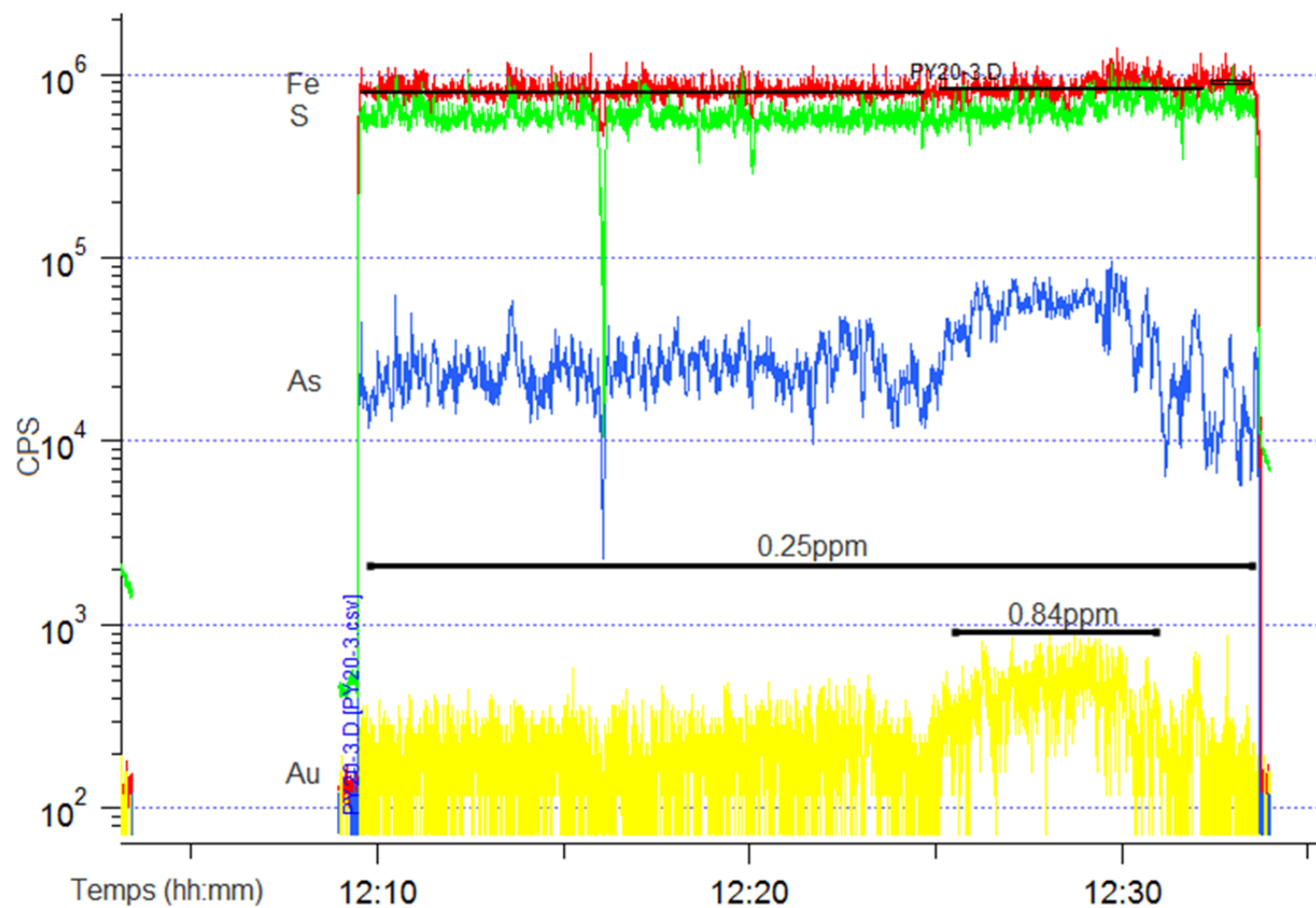


Figure 71 : Signaux bruts en compte par seconde (CPS) d'une pyrite nodulaire prise dans un horizon graphiteux dans les basaltes distaux à la minéralisation. Notez la distribution en plateau de l'or et les teneurs calculées à partir de ce signal.

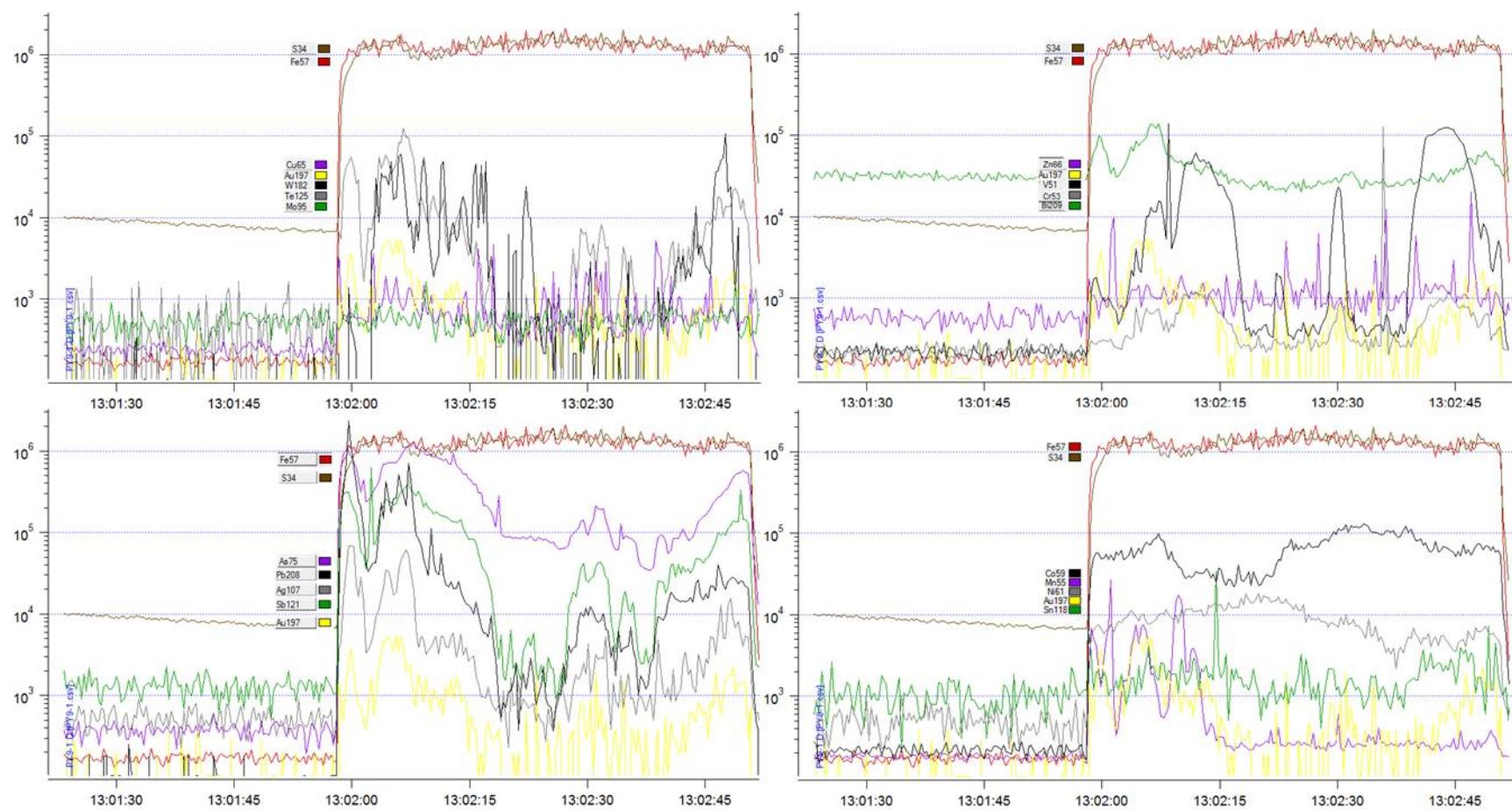


Figure 72 : Exemples des signaux bruts LA-ICP-MS en compte par seconde (axe verticale en CPS) en fonction du temps (axe horizontal) montrant différents éléments sur la même pyrite. Les éléments Pb, Ag, Sb, As, Te et W montrent des variations en CPS proportionnelles à Au, indiquant que ces éléments sont génétiquement liés à l'enrichissement en Au.

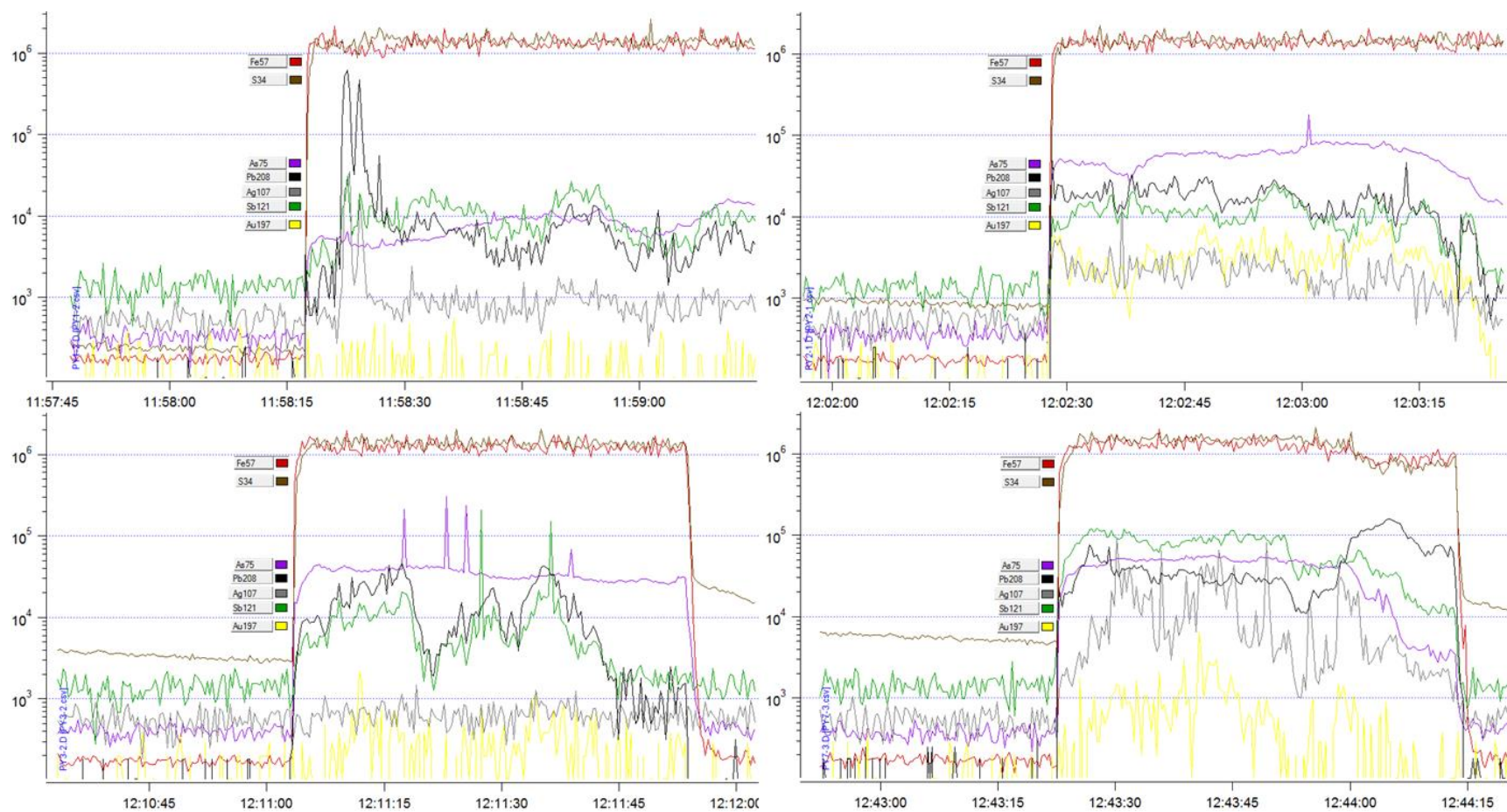


Figure 73 : Exemples des signaux bruts LA-ICP-MS en compte par seconde en fonction du temps montrant des exemples de pyrites où les éléments Pb, As, Sb et Ag montrent des variations proportionnelles avec l'or, indiquant que cette association est commune dans les pyrites.

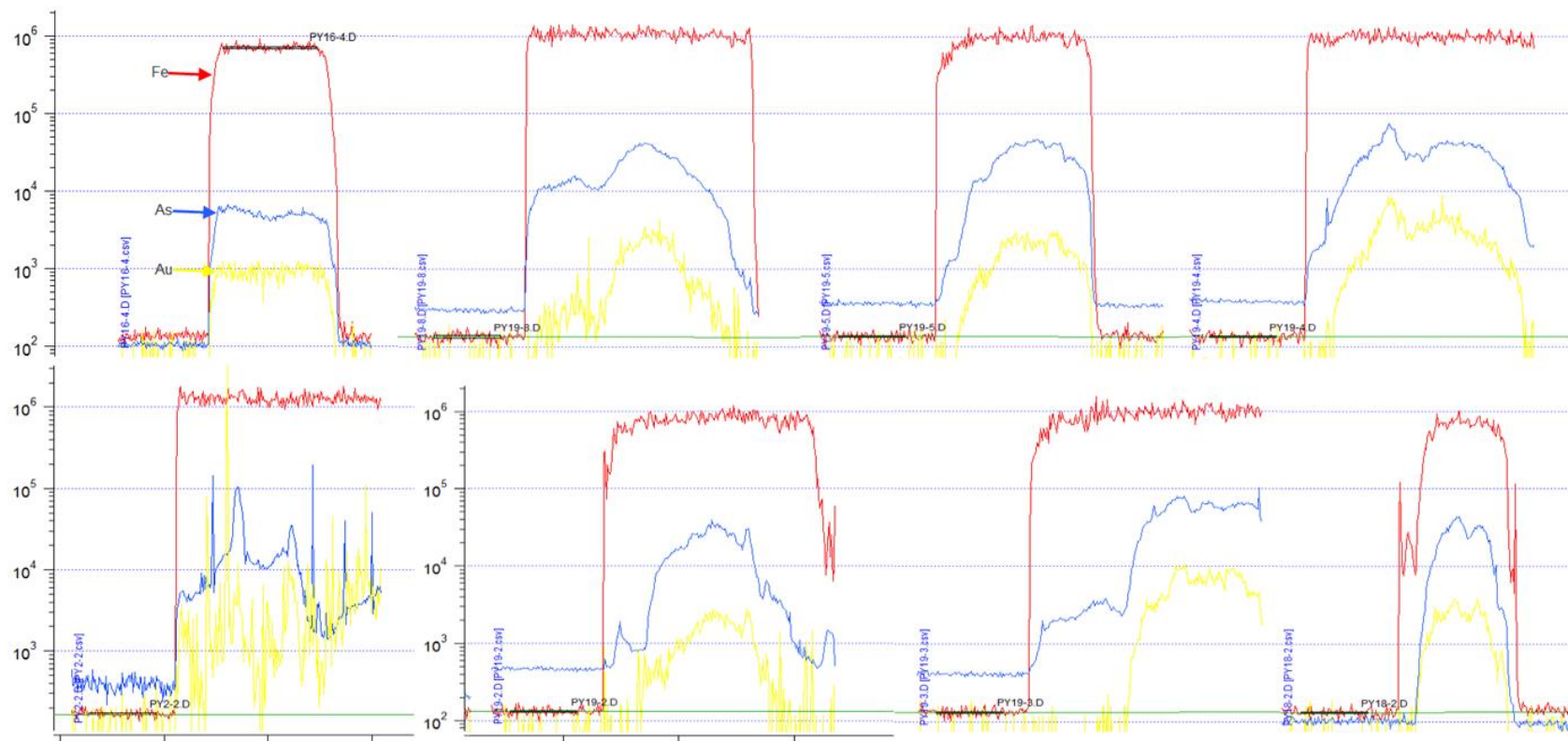


Figure 74 : Diagramme des signaux bruts montrant des exemples de pyrites zonées. Il apparaît clair que l'or (Au) est enrichi dans les cœurs des pyrites en lien avec l'arsenic (As). Le fer (Fe), en plateau, définit les bordures de la pyrite.

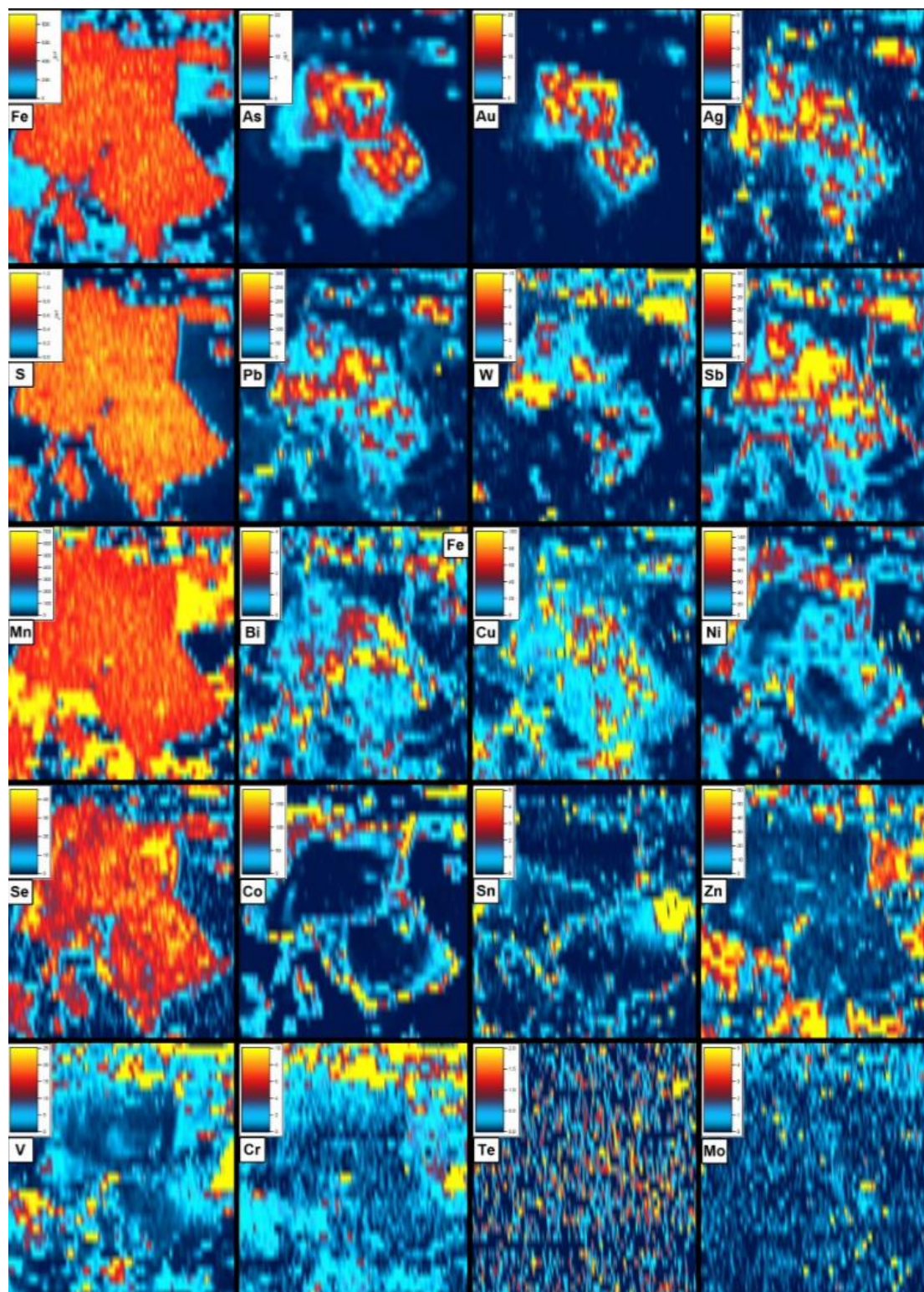


Figure 75 : Cartographie au LA-ICP-MS d'une pyrite provenant de la zone minéralisée montrant bien la zonalité de l'or au cœur de la pyrite et son lien avec As, Pb, W, Sn, Cu et Bi. Les bordures des pyrites sont enrichies en Ni, Co et Sn mais déficientes en or.

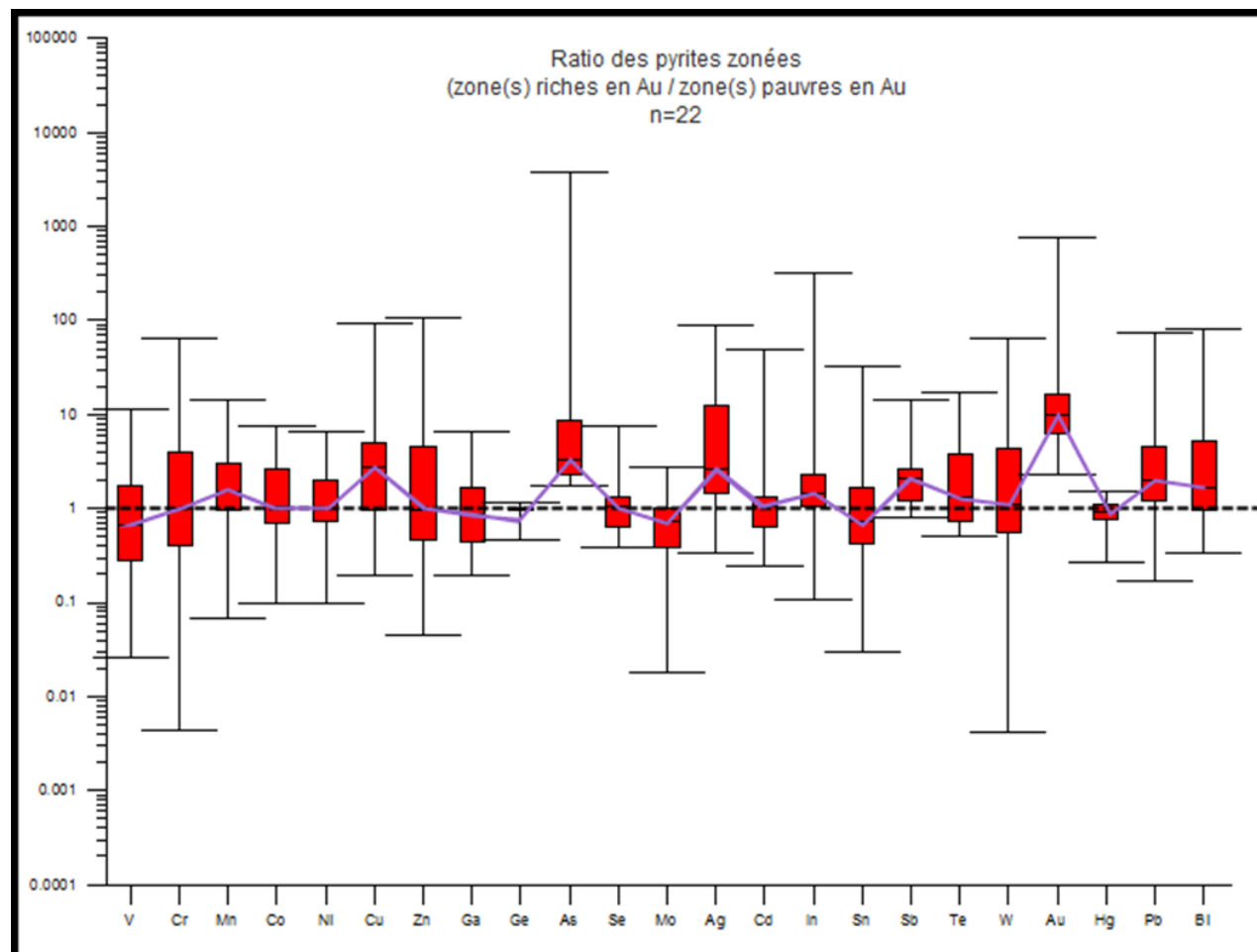


Figure 76 : Ratio de la (ou des) zone(s) riche(s) en or sur la (ou les) zone(s) pauvre(s) en or de 22 pyrites montrant une zonalité de la distribution de l'or sur les signaux LA-ICP-MS.

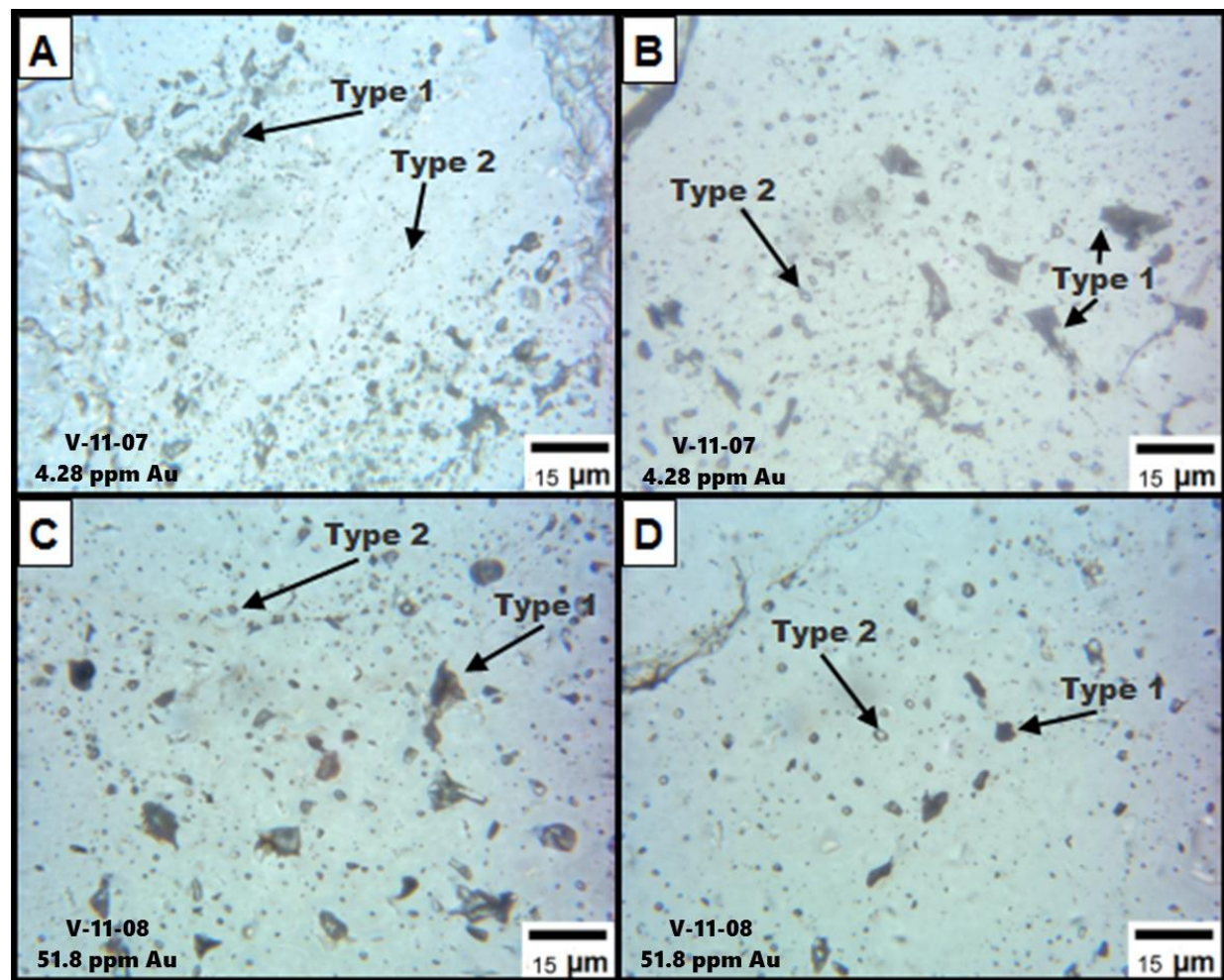


Figure 77 : Photographie microscopique montrant les deux types de familles d'inclusions fluides dans les échantillons sélectionnés.

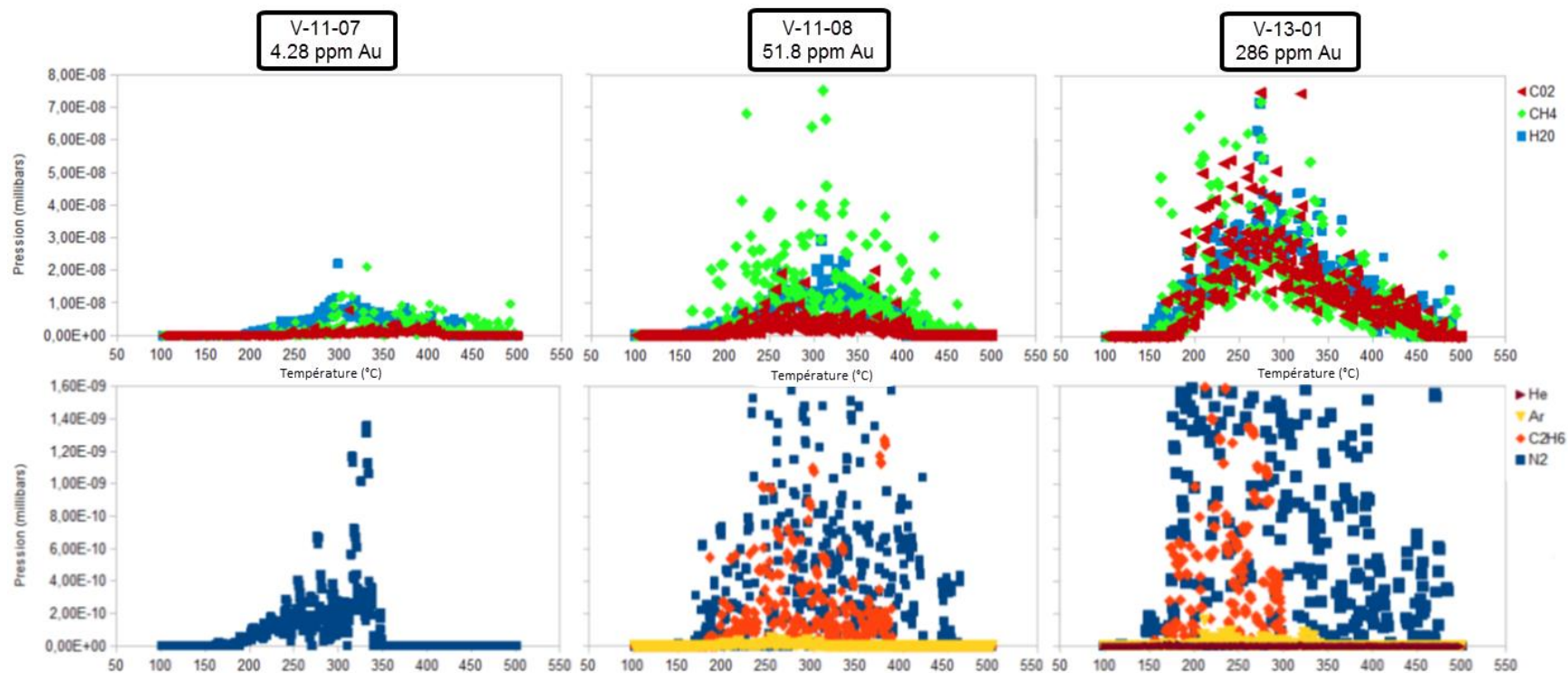


Figure 78 : Diagramme binaire montrant les proportions de CO₂, CH₄, H₂O, C₂H₆, He, Ar et H₂ analysées en temps réel par spectrométrie de masse à sonde solide lors de l'augmentation progressive de la température (°C) et de la décrépitation des inclusions fluides de trois échantillons minéralisés provenant de la mine Vezza.

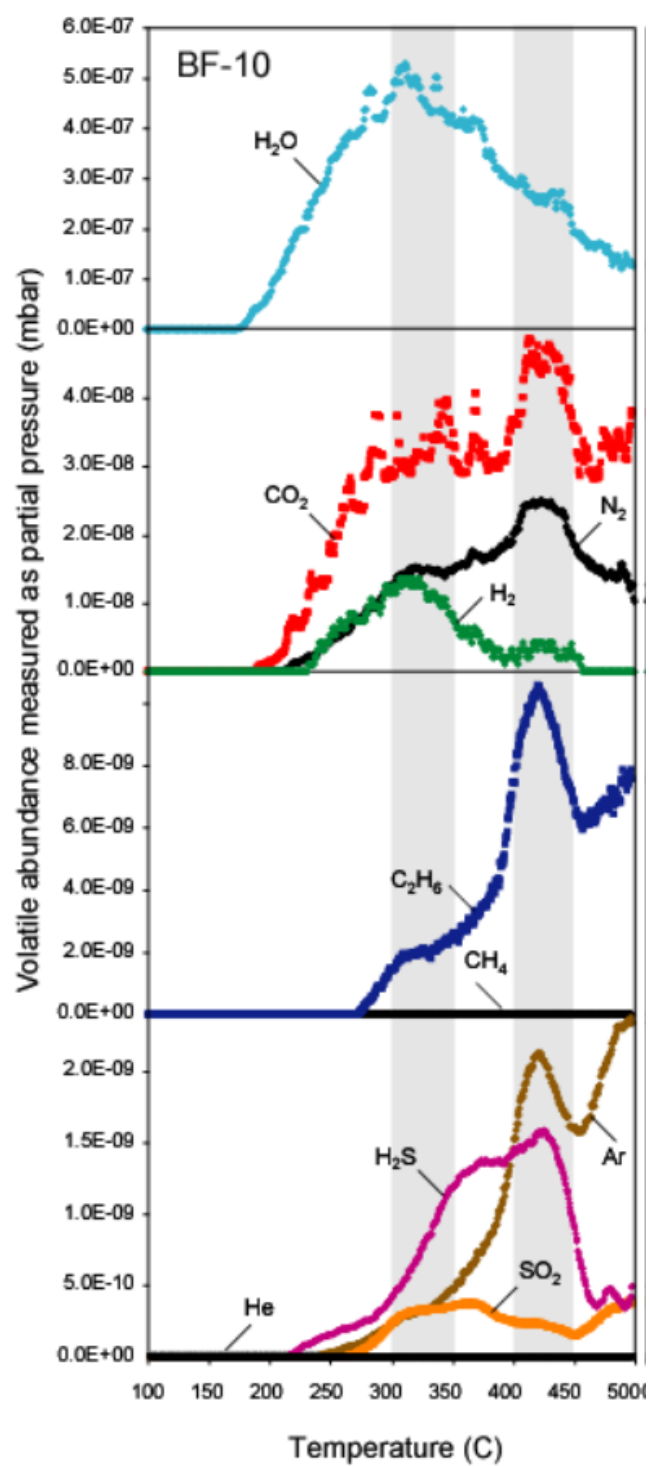


Figure 79 : Résultat de l'analyse du contenu en volatiles de la mine Beaufor, tirée de Gaboury (2011).

CHAPITRE 6

Synthèse et conclusions

6.1. Introduction

Au cours des précédents chapitres de nombreuses spécificités du dépôt Veza ont été présentées. Les prochaines sections constituent alors une synthèse par chapitre de ces caractéristiques qui seront ensuite utilisées pour la discussion (section 6.6) et pour contraindre le modèle métallogénique (section 6.7).

6.2. Synthèse des caractéristiques - chapitre 2

- 1) Observations de granoclassement indiquant une polarité des roches sédimentaires vers le nord (figure 11), permettant de conclure que la séquence stratigraphique est inversée.
- 2) Intrusions (dykes) felsiques exclusivement contenues dans les roches volcaniques, localement à moins de quelques mètres des roches sédimentaires, mais ne les recoupant en aucun cas. Cette relation permet de questionner la nature primaire du contact volcano-sédimentaire et de plutôt l'interpréter comme une discontinuité structurale.
- 3) Faciès métamorphique aux schistes verts où les roches sont composées de chlorite, séricite carbonates et d'épidote mais avec la présence d'amphiboles idiomorphiques tardives à la déformation et à la minéralisation aurifère. Les amphiboles impliquent un métamorphisme au faciès des schistes verts supérieurs tardif au pic de déformation.
- 4) Proportions importantes de roches sédimentaires chimiques, et à proximité du contact volcano-sédimentaire, évidence de sulfuration des oxydes de fer et reliquats de chert dans le minerai. Ces évidences suggèrent que le protolithe de la minéralisation contenait certaines proportions de formations de fer.
- 5) Géochimie des roches indiquant que les laves sont issues d'un magmatisme mafique d'affinité

tholéiitique avec un patron ETR de type MORB; les intrusions felsiques qui recoupent ces basaltes sont d'affinité calco-alkaline. Les grauwackes et les argilites ont une source détritique commune avec des spectres ETR identiques.

6.3. Synthèse des caractéristiques - chapitre 3

- 6) Linéation d'étirement forte et homogène orientée 140°N et à plongée de 74 (140 74).
- 7) Attitude moyenne de la schistosité principale (S_p) récoltées dans les excavations souterraines et sur les affleurements de surface est respectivement de 095°N 69° et 108°N 76° tandis que l'orientation du clivage de crénulation (S_{p+1}) est de 076°N et 085°N avec un pendage de 76° et 83°.
- 8) Indicateurs cinématiques de déformation ductile montrant une histoire de déformation complexe avec multiples phases de mouvement dont la cinématique est variée.
- 9) Colinéarité entre la linéation d'étirement et la linéation intersection favorisant la perméabilité selon cet axe (figure 34).
- 10) Interprétation géométrique de la faille de Vezza selon un mouvement inverse lors de D1, basée sur la schistosité principale.
- 11) Interprétation géométrique de l'attitude de la faille de Vezza par rapport au clivage de crénulation compatible avec du coulissage dextre tardif D2 (figure 33).

6.4. Synthèse des caractéristiques - chapitre 4

- 12) Les altérations caractérisant le système hydrothermal et le dépôt sont la silicification, la carbonatation, la séricitisation, la chloritisation, la fuchsitisation, l'épidotisation avec présence locale de tourmaline (figure 51).
- 13) Zonalité des carbonates : la calcite est distale et les carbonates de fer (ankérite, sidérite) sont proximaux à la minéralisation aurifère de la zone contact (figures 39 et 40).

- 14) Minéralisation aurifère associée à une forte silicification et carbonatation invasives et finement disséminée. Elle est encaissée dans un grauwacke localement interdigité avec des argilites et des reliquats de formations de fer, le long du contact avec les roches volcaniques ou encore avec une argilite graphiteuse elle-même en contact avec les roches volcaniques.
- 15) Présence de valeurs aurifères hors de la zone contact, essentiellement dans la partie sédimentaire et montrant une association spatiale avec les formations de fer altérées.
- 16) Minéralisation synchrone à la déformation D2, déterminée à partir de rubans de séricite et de veinules de quartz qui s'entrecoupent (figures 36, 37 et 38).
- 17) Perte de l'intensité de l'altération et de la minéralisation de la zone contact à son l'extrémité est. Ceci se manifeste par la disparition de la fuchsitisation des roches volcaniques de l'éponte nord (section 4.5.4), une séricitisation plus intense et plus distale à la zone contact des roches sédimentaires de l'éponte sud (figure 47) accompagnée de valeurs aurifères sporadiques de plus en plus fréquentes et une diminution des teneurs aurifères et de l'épaisseur de la zone contact (figure 46).
- 18) Le calcul du bilan de masse indique un gain de masse des grauwackes minéralisés causé par un ajout de carbonates couplé à un gain moindre mais toutefois considérable, de silice, de fer et de sodium, et montrant une signature métallique de faible intensité en As-Mo-W-Cu (figure 35).
- 19) Ratio Au/Ag de 4,4 (n=18, tableau 4).

6.5. Synthèse des caractéristiques - chapitre 5

- 20) Géométrie de la minéralisation avec un allongement préférentiel dans le même axe que les linéations d'étirement et d'intersection, exprimant le facteur de contrôle structural principal de la minéralisation (figure 57).

- 21) Contrôle structural de deuxième ordre associé à des virgations en plan, mis en évidence lors de la cartographie des excavations souterraines (figures 59 et 60). Les zones de contacts volcano-sédimentaires orientées est-sud-est sont plus fortement silicifiées et minéralisées alors que les zones d'orientation est-nord-est ont tendance à être faiblement minéralisées.
- 22) Le traitement global des pyrites en fonction de leur teneur en or fait ressortir que l'enrichissement en Co-Ni des pyrites n'est pas lié avec l'événement hydrothermal aurifère. De même, les pyrites les plus poreuses avec des enrichissements en Mn-Cr-V sont également les moins riches en or.
- 23) La suite d'éléments Ni-Co-Mn-Cr-V se retrouve en proportions similaires dans les pyrrhotites stériles et les pyrites riches en or, suggérant que ces métaux ne sont pas en lien avec l'événement aurifère. Les analyses d'une pyrite distale et des oxydes de fer confirment que les pyrites minéralisées ont globalement un bruit de fond similaire en V-Cr-Mn-Co-Sn, alors que la suite de métaux Au-Ag-As-W-Mo-Cu-Pb-Sb-Bi est déficiente.
- 24) L'ensemble des données et des traitements sur les pyrites, couplé avec les informations du bilan de masse sur les grauwackes, indiquent que la signature métallique liée à l'événement aurifère est Ag-As-W-Mo-Cu-Pb-Sb-Bi.
- 25) Les bordures externes des pyrites analysées au LA-ICP-MS montrent une signature appauvrie en Au-As-Ag-Mo-Cu-Mn-Te-Pb-Bi-Sb. Cette perte métallique suggère un lessivage et une remobilisation tardive et partielle n'ayant affecté que la bordure des cristaux des pyrites.
- 26) Le signal brut en compte par seconde (CPS) des lignes ainsi que les cartographies au LA-ICP-MS sur les pyrites aurifères ont révélé que l'or est distribué en plateaux relativement uniformes avec peu d'inclusion. Cette distribution implique que l'or est finement disséminé dans les pyrites, en accord avec la rareté des observations macroscopiques et microscopiques d'or libre à Veza.
- 27) Les pyrites cristallines et à granulométrie fine sont préférentiellement enrichies en or.

- 28) Les fluides hydrothermaux étaient riches en gaz et pauvres en eau, essentiellement composés de CO₂ avec des traces de CH₄, N₂, C₂H₆ et H₂. La présence d'hydrocarbures légers (CH₄, C₂H₆) implique une source des fluides reliée au métamorphisme d'argilite pyriteuse en profondeur (Gaboury, 2013).
- 29) Inclusions fluides monophasées soulignant un système hydrothermal qui n'est pas dominé par les variations de pression. L'effervescence ou la séparation de phase n'apparaissent donc pas comme le mécanisme dominant pour engendrer la précipitation de l'or à Vezza.

6.6 Discussion

La minéralisation de Vezza est particulière quant à son style. Ce point est discuté ci-dessous en lien avec les caractéristiques structurales. De plus, la signature métallique du minerai, le mécanisme de précipitation de l'or et la source de l'or et des fluides sont discutés dans les sections suivantes pour préciser le modèle métallogénique.

6.6.1 Style de minéralisation et implication génétique

Certaines caractéristiques du gisement Vezza comme les altérations hydrothermales, l'empreinte hydrothermale, le contexte structural et le cortège métallique de la minéralisation aurifère sont compatibles avec les gisements de type filoniens ou orogéniques. Les gisements orogéniques sont la plupart du temps constitués d'une ou plusieurs veines ou filons de quartz. Vezza se distingue de ces gisements par la quasi-absence de veines de quartz. Cependant, la même minéralogie composant les filons est retrouvée à Vezza, mais finement disséminée dans la roche. Cette distribution de la silicification et de la minéralisation peut s'expliquer par un mode de mise en place où les fluides auraient profité de la perméabilité des roches sédimentaires, de la porosité des grauweekes et de la réactivité des formations de fer pour former une minéralisation par remplacement qui est pénétrante et diffuse. Le phénomène de remplacement des formations de fer, bien que subtil, est mis en évidence

par : 1) la présence de reliquats de chert dans certains segments de minéralisation; 2) la présence de pyrites avec des inclusions poecilitiques de magnétique; et 3) l'abondance de formations de fer dans l'éponte sud de la minéralisation à proximité de la zone contact.

Le style de minéralisation particulier à Vezza peut aussi être relié au contexte structural dans lequel le gisement s'est formé. Premièrement, la linéation d'étirement mesurée sur le terrain et dans la mine constitue l'empreinte dominante de la déformation et le facteur principal du contrôle de la distribution de la minéralisation comme le montre la section longitudinale de la figure 57. Cette empreinte tectonique est cohérente avec un raccourcissement. La linéation d'intersection entre S_p et S_{p+1} , de même orientation que la linéation d'étirement, est aussi une structure favorisant la perméabilité des roches selon cet axe. D'autre part, les cartographies des galeries souterraines (figures 59 et 60) suggèrent un second contrôle structural, cette fois en lien avec un ou des épisodes de coulissages subhorizontaux dextres, mouvement compatible avec les observations du clivage de crénulation S_{p+1} . En effet, les virgations en extension dans un système couissant dextre sont un contrôle important sur la distribution en plan des vecteurs minéralisés (*oreshoot*) correspondant à des zones épaisses et plus riches en or. Il est ainsi proposé que les fluides minéralisateurs aient été introduits durant la période de coulissage dextre, mais que l'héritage de la déformation verticale et de la linéation d'intersection constitue également un contrôle important, quoique passif. Au final, le couplage de ces deux éléments structuraux engendre des conduits verticaux, qui dilatent à la faveur des mouvements dextres. En conséquence, lors des périodes de coulissages, la forte anisotropie de la partie sédimentaire, composée de multiples couches, fait en sorte qu'il n'y a pas la création d'une seule ouverture, mais plutôt de plusieurs micro-dilatations le long des plans d'anisotropie. Quoique nombreuses, ces ouvertures sont probablement de faible puissance et discontinues, restreignant ainsi la quantité de fluides pouvant circuler librement de sorte que la pression du système hydrothermal demeure élevée. La pression élevée du système hydrothermal est exprimée par la composition riche en gaz des fluides et surtout par leur composition monophasée. Ce concept d'infiltration des fluides pressurisés est cohérent avec l'interprétation d'une minéralisation formée par remplacement plutôt

que par des variations de pression au sein d'une structure ductile-cassante. Ce style structural explique également la large empreinte hydrothermale observée ainsi que la formation des zones aurifères retrouvées dans l'éponte sud de la zone contact.

Bien que la minéralisation de Vezza soit atypique par son style en remplacement, d'autres exemples de ce type de minéralisation ont été identifiés, notamment pour les gisements de Wana (Augustin, 2011; Augustin et al., 2016) et Lapa (Simard, 2011; Simard et al, 2013). Ces deux gisements sont encaissés au sein de zone de failles importantes développées sur des roches sédimentaires. En outre, le gisement de Wona, au Burkina Faso, présente les mêmes assemblages minéralogiques et les mêmes zonalités d'altération hydrothermale. Pour ce cas spécifique, un mouvement coulissant est également documenté lors de la période de minéralisation (Augustin et al., 2016). Le style « Vezza » apparaît donc être la conséquence de la circulation de fluides hydrothermaux pressurisés à travers une zone de faille verticale, développée sur des roches ayant une forte anisotropie planaire.

6.6.2 Signature métallique du minerai et implications

Le bilan de masse des grauwackes et les analyses au LA-ICP-MS ont permis de définir que la signature métallique en lien avec l'événement aurifère se traduit par un enrichissement en Ag-As-W-Mo-Cu-Pb-Sb-Bi de faible intensité. Cette signature métallique est en partie compatible avec la signature typique des dépôts orogéniques en Ag, As, B, Bi, Cu, Pb, Sb, Te, W, et Zn (Groves et al., 2003). Selon Lang et Baker (2001), la signature des gisements aurifères de type « *Intrusion-related gold system –IRGS* » est : $Au-Bi \pm Te \pm As \pm Mo \pm W$. Pour Vezza, la présence de métaux granophiles comme le W-Bi-Mo et le ratio Au/Ag de 4,4 impliquent donc la possibilité d'un apport en fluides d'origine magmatique.

La présence d'une intrusion en profondeur sous le dépôt de Vezza et l'apport de fluides magmatiques par celle-ci est une possibilité pouvant expliquer la signature métallique du dépôt. Toutefois, cette contribution demeure spéculative et aucune intrusion n'est connue dans

l'environnement immédiat de Vezza. Néanmoins, il faut souligner l'influx thermique tardif manifesté par la présence d'amphiboles idiomorphiques qui pourrait être relié à une telle intrusion.

6.6.3 Précipitation de l'or

La précipitation d'or dans les gisements orogéniques est communément induite par une baisse de pression des fluides (Wilkinson et Johnston, 1996). Cette baisse de pression provoque une séparation de phases (acide carbonique se transforme en CO_2), induisant ainsi un changement de pH (Phillips and Powell, 2011; Williams-Jones et al., 2009) qui conséquemment change la solubilité de l'or qui précipite sous la forme d'or libre. Les séparations de phases se manifestent par la coexistence d'inclusions fluides à phases différentes (liquide, gazeuse et gazeuse-liquide : Wilkinson et Johnston, 1996; Gaboury et al., 2008).

L'absence d'évidence supportant le processus d'ébullition ou de séparation de phases dans le minerai de Vezza, les rares observations d'or libre et la distribution de l'or en plateau dans les pyrites (LA-ICP-MS) sont des évidences indirectes qui impliquent que la minéralisation s'est formée essentiellement par le remplacement des roches. Typiquement, les veines de quartz se forment en réponse à une ouverture tectonique (p. ex. Cox et al., 2001). Ces ouvertures s'accompagnent d'une diminution de la pression des fluides et de la précipitation d'or libre (Wilkinson et Johnston, 1996). Dans le cas de Vezza, il faut évoquer un autre mécanisme.

La précipitation de l'or à Vezza pourrait s'expliquer par la présence des formations de fer. Celles-ci ont le potentiel d'induire un changement des conditions redox des fluides hydrothermaux lors du remplacement des oxydes de fer en sulfures (p.ex. Phillips and Powell, 2011). Selon les diagrammes de solubilité (Williams-Jones et al., 2009), un faible changement de fugacité d'oxygène vers le pôle oxydant entraîne une réduction majeure de la solubilité de l'or et donc sa précipitation (Hodkiewicz et al., 2009). De plus, comme la sulfurisation implique la consommation du HS^- (Phillips and Powell, 2011), qui est le principal liant de l'or (Williams-Jones et al., 2009; Phillips et Powell, 2010), celui-ci peut donc précipiter lors de la formation de la pyrite, tel que documenté dans la présente étude.

6.6.4 Source de l'or et des fluides

Phillips et Powell (2010) mettent en évidence dans leurs travaux la productivité de la transition « schistes verts – amphibolite » pour la déshydration des roches et la formation de fluides métamorphiques. En parallèle, le modèle de Large et al. (2011) suggère que la transformation de la pyrite en pyrrhotine lors du métamorphisme au faciès amphibolite permet de relâcher l'or, l'arsenic et le soufre. Pitcairn et al. (2010) dans leur étude des pyrites des Schistes d'Otago, ont mis en évidence le fait que les pyrites primaires ont des teneurs en or et en arsenic, éléments perdus après la transformation de la pyrite en pyrrhotine lors du métamorphisme. Dans le même ordre d'idées, Tomkins (2010) présente des modélisations thermodynamiques mettant en évidence que la transition chlorite-amphibole est la fenêtre optimale pour la libération de fluides riches en CO_2 - H_2O - H_2S . Tomkins (2010) démontre également que l'une des meilleures sources pour libérer le soufre, l'or et les fluides résident dans les argilites riches en carbone et en pyrite. En somme, ces auteurs s'accordent tous sur le fait que la transformation de pyrite en pyrrhotine en profondeur libère les métaux, dont l'or. Le transport de cet or se fait dans des conditions particulières (pH-redox-P-T) qui nécessitent des fluides contenant du soufre comme liant et du CO_2 comme tampon (Phillips et Powell, 2010). De ces caractéristiques, les shales contenant de la pyrite primaire (source de Au-As-S), du graphite (source de CO_2) et des proportions élevées de minéraux comme la chlorite (source d' H_2O) qui sont soumis à un métamorphisme au faciès amphibolitique deviennent une source probable pour l'or et les fluides des gisements d'or orogéniques. Ce modèle a été confirmé indépendamment grâce à la présence de C_2H_6 dans les inclusions fluides de gisements orogéniques d'âge variant entre 100 et 2800 Ma (Gaboury, 2013). Gaboury (2013) a démontré que le C_2H_6 dans les fluides hydrothermaux ne peut provenir que de la maturation thermique de matière organique, démontrant ainsi le rôle fondamental des shales graphiteux comme source de l'or en profondeur.

Pour Vezza, la présence d'argilite graphiteuse au niveau de la zone contact ainsi que d'horizons graphiteux riches en pyrites nodulaires contenant des valeurs primaires en or, argent, plomb et arsenic

dans les basaltes, représentent une source probable pour l'or et les fluides, dans la mesure où ces roches sont existantes en profondeur. La présence de ces horizons graphiteux est également cohérente avec le contenu riche en hydrocarbures légers (CH_4 , C_2H_6) des inclusions fluides à Vezza. La verticalisation des unités lithologiques, la composition riche en hydrocarbures légers des inclusions fluides et la corrélation des teneurs primaires en Au-Ag-As-Pb implique les shales graphiteux à pyrites nodulaires comme l'une des sources de l'or et des fluides ayant été mis à contribution pour former le gisement Vezza.

6.7 Conclusion : Modèle de formation

L'ensemble des résultats de cette étude permet de proposer un modèle évolutif du système hydrothermal de Vezza. Les stades du modèle sont présentés ci-dessous.

- 1) Raccourcissement et faille inverse lors de la déformation principale D1 (chapitre 1) :
 - a. Genèse du contact roches sédimentaires/volcaniques le long d'une faille inverse dans le nez d'un pli régional synclinal déversé (figure 80) ;
 - b. Création de la linéation d'étirement et de la structuration verticale à l'origine de la plomberie primaire du système hydrothermal (figure 81A).
 - c. Distribution de formations de fer le long de la structure chevauchante (figure 81B)
 - d. Formation de fer avec bruit de fond primaire en métaux Ni-Co-V-Cr-Mn-Sn+/-Sb+/-Pb+/-Zn+/-Cu (figure 81C).
- 2) Formation du clivage de crénulation (S_{p+1}), de la linéation d'intersection (L_{int}) et coulissage dextre (D2) :
 - a. Linéation d'intersection (L_{int}) d'orientation similaire à la linéation d'étirement (L_e) causant l'amplification de l'anisotropie verticale et de la perméabilité le long de cet axe (figure 82A).
 - b. Formation de zones de dilatations le long de la structure chevauchante contrôlée

par les irrégularités de son orientation lors du coulissage dextre engendré par D2 (figure 82A).

- c. Amorce du système hydrothermal dans les zones de micro-dilatations le long de la structure chevauchante existante (figure 82B) dans des conditions de haute pression, produisant ainsi un style de minéralisation en remplacement plutôt que des veines de quartz.
- d. Fluides hydrothermaux riches en soufre et pauvres en métaux transformant les oxydes des formations de fer en pyrrhotite et pyrite tout en conservant leur bruit de fond métallique (figure 82C).
- e. Processus de sulfurisation causant des variations des conditions redox provoquant la précipitation de l'or en fines particules dans les pyrites au cours de leur formation.

3) Apogée du système hydrothermal aurifère (synchrone à D2) :

- a. Hydrothermalisme de forte intensité formant le large halo d'altération (figure 83A) et la zone minéralisée au cœur du système, localisés le long du contact entre les roches sédimentaires et volcaniques (figure 83B).
- b. Enrichissement des pyrites selon la suite de métaux Au-Ag-As-W-Mo-Cu-Pb-Sb-Bi et formation des arsénopyrites riches en or avec une signature métallique similaire aux pyrites (figure 83C).

4) Hydrothermalisme tardif (tardif à postérieur D2)

- a. Imprégnation d'un faciès métamorphique des schistes verts supérieurs au niveau de la minéralisation (figure 84A).
- b. Hydrothermalisme tardif n'affectant que partiellement les roches mais causant le lessivage des métaux As-Au-Ag-Mo-Cu-Mn-Te-Pb-Bi-Sb aux bordures des grains de pyrites (figure 84B).

Au final, le gisement d'or Vezza se démarque des autres dépôts par son style de minéralisation où la silicification et la carbonatation forment un réseau pénétrant de fines veinules et de remplacement dans les formations de fer ainsi que dans les grauwackes. Ces caractéristiques traduisent un système hydrothermal sous haute pression contrôlé verticalement par l'empreinte de la première déformation (S_p et L_6 en lien avec D1) et horizontalement par les dilatations causées lors du coulissage dextre en lien avec le clivage de crénulation (S_{p+1}) et le deuxième épisode de déformation (D2).

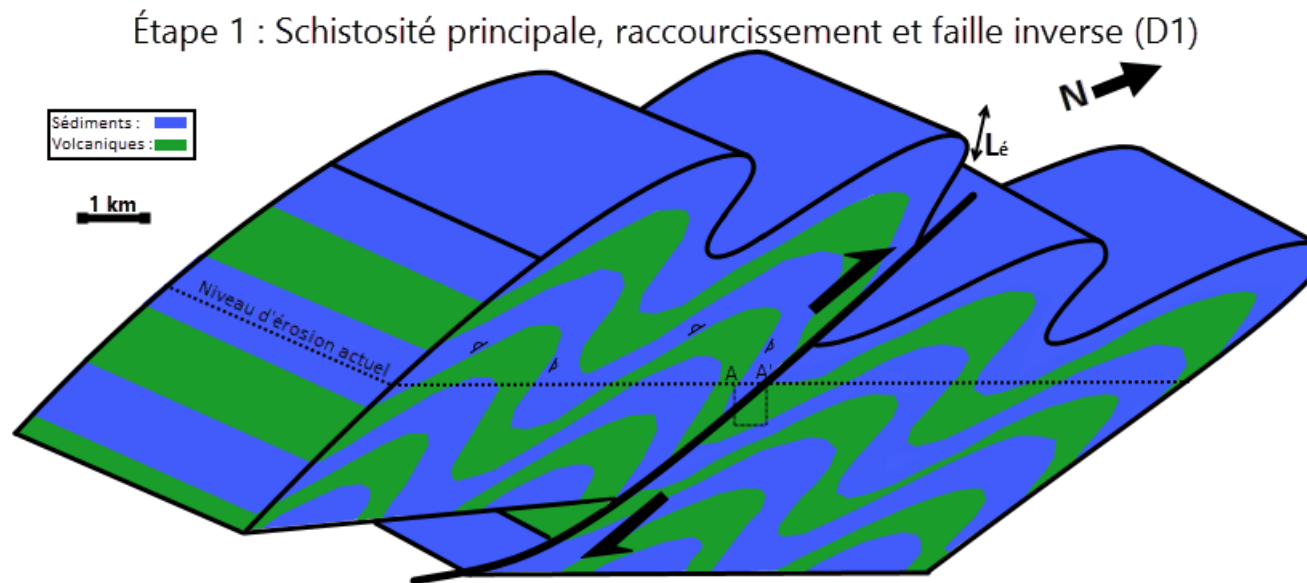


Figure 80 : Modèle de formation proposé du dépôt Vezza étape 1, raccourcissement D1 : modèle 3D avec vue en section montrant la genèse du contact entre les roches sédimentaires et les roches volcaniques le long d'une faille inverse dans le nez d'un pli régional synclinal déversé.

Étape 1 : Schistosité principale, raccourcissement et faille inverse (D1)

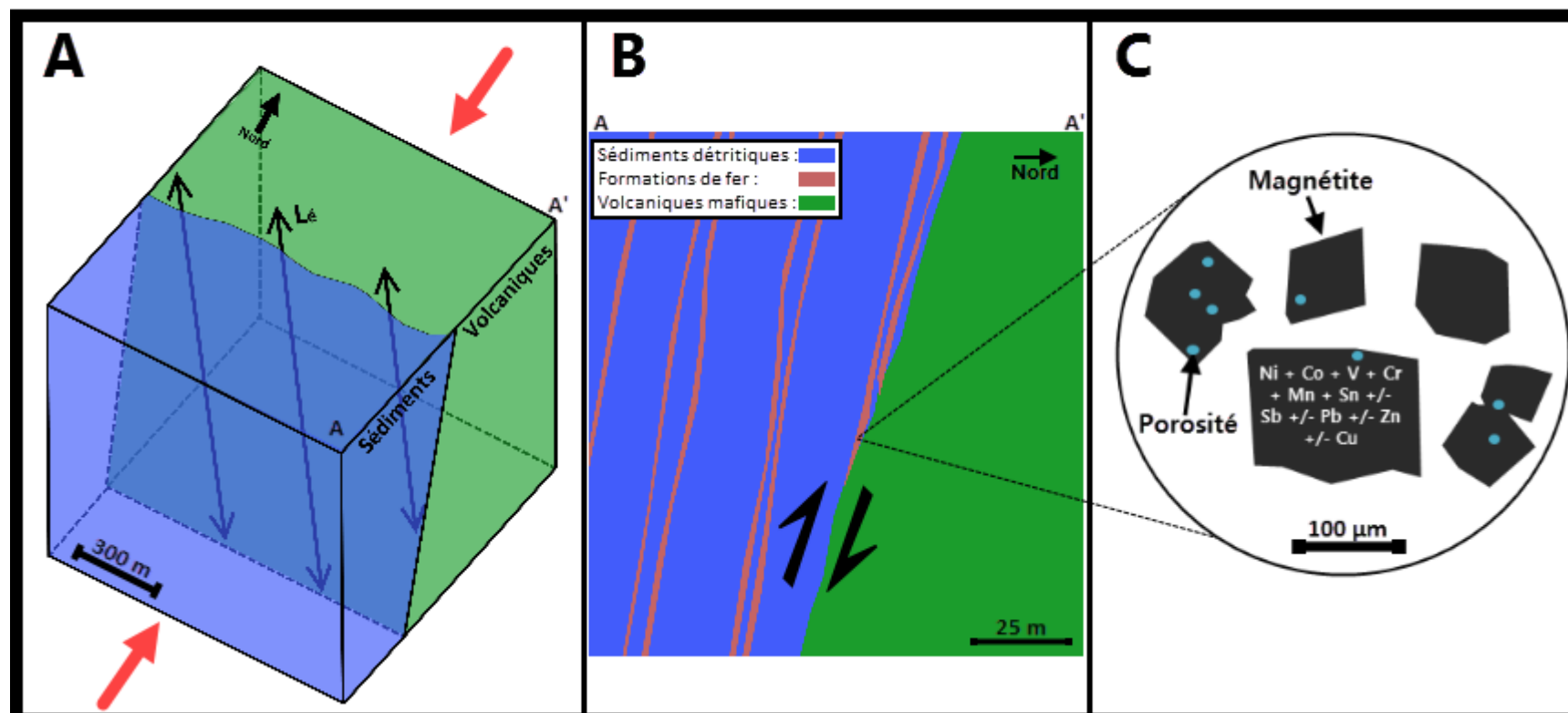


Figure 81 : Modèle de formation proposé du dépôt Veza étape 1, raccourcissement D1 (suite) : A) Création de la linéation d'étirement et de la structuration verticale à l'origine de la plomberie du système hydrothermal. B) Distribution des formations de fer le long de la structure chevauchante. C) Formations de fer avec bruit de fond primaire en métaux Ni-Co-V-Cr-Mn-Sn+/-Sb+/-Pb+/-Zn+/-Cu.

Étape 2 : Clivage de crénulation, linéation d'intersection et coulissage dextre (D2)

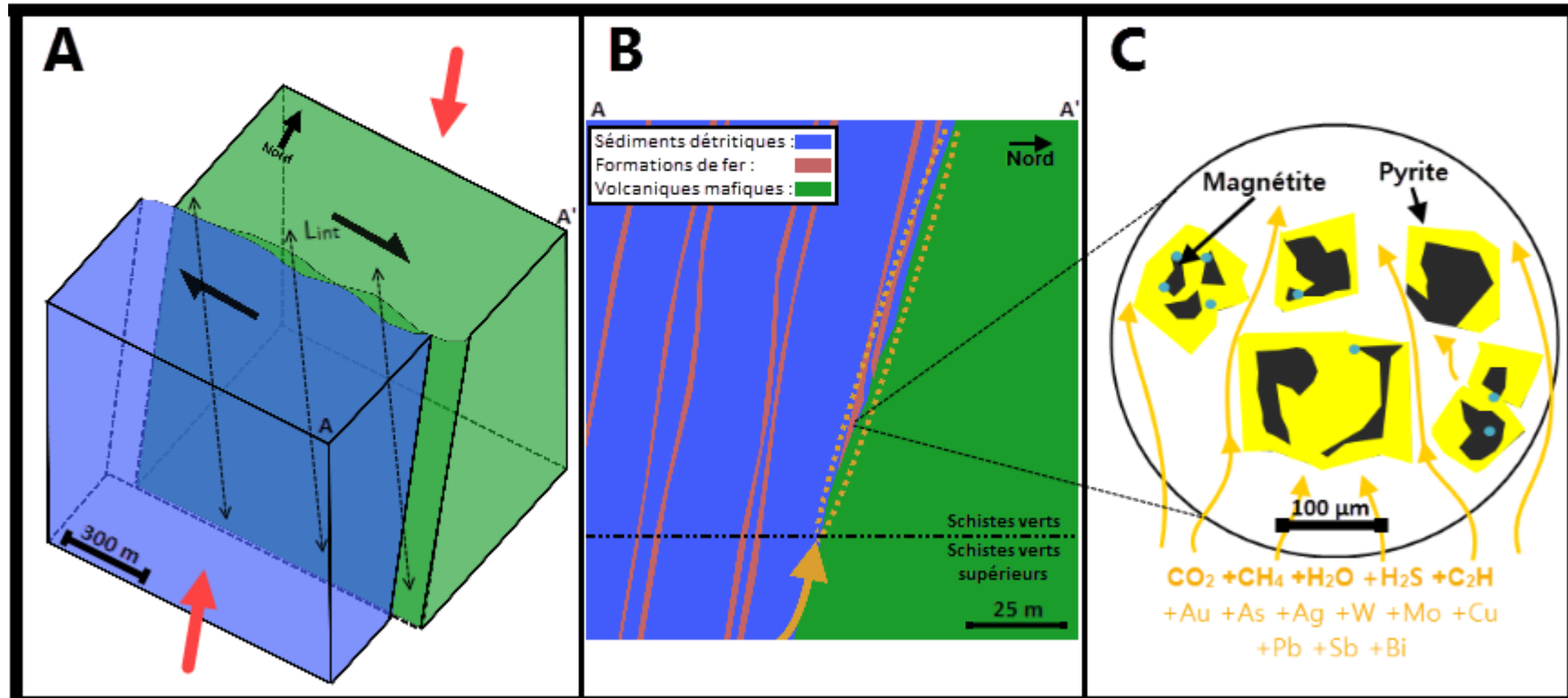


Figure 82 : Modèle de formation proposé du dépôt Veza étape 2, formation du clivage de crénulation (S_p+1), de la linéation d'intersection (L_{int}) et coulissage dextre (D2) : A) Linéation d'intersection (L_{int}) d'orientation similaire à la linéation d'étirement (L_e) causant l'amplification de l'anisotropie verticale et la perméabilité le long de cet axe. Lors du lors du coulissage dextre, la formation de zones de dilatations le long de la structure chevauchante initiale est contrôlée par les irrégularités géométriques. B) Amorce du système hydrothermal drainé par les zones de dilatations le long de la structure chevauchante durant D2. C) Fluides hydrothermaux riches en soufre et pauvres en métaux transformant les oxydes des formations de fer en pyrrhotite et pyrite tout en conservant leur bruit de fond métallique.

Étape 3 : Apogée du système hydrothermal

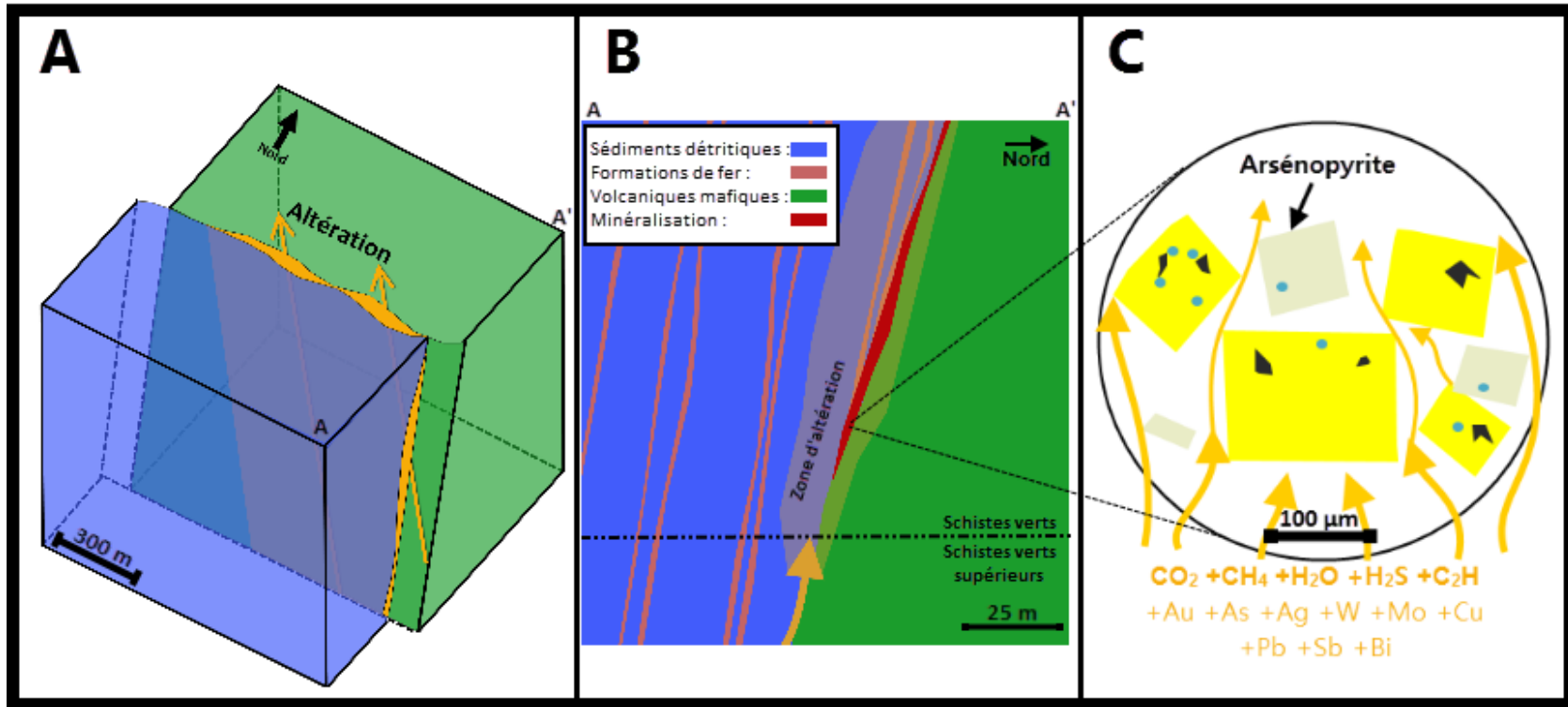


Figure 83 : Modèle de formation proposé du dépôt Veza étape 3, apogée du système hydrothermal : Hydrothermalisme de forte intensité formant la large zone d'altération (A), la zone minéralisée au cœur du système localisée le long du contact entre les roches sédimentaires et volcaniques, (B) et l'enrichissement des pyrites selon la suite de métaux Au-Ag-As-W-Mo-Cu-Pb-Sb-Bi ainsi que la formation des arsénopyrites riches en or avec une signature métallique similaire aux pyrites (C).

Étape 4 : Hydrothermalisme tardif

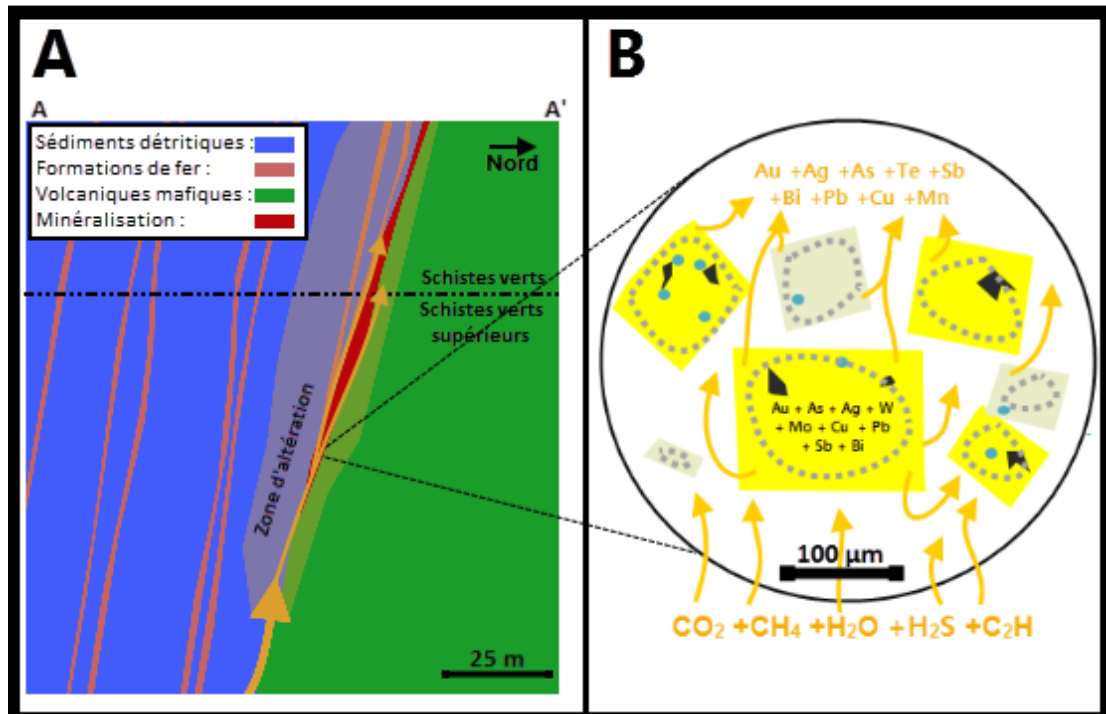


Figure 84 : Modèle de formation proposé du dépôt Veza étape 4 : A) Métamorphisme au faciès des schistes verts supérieurs atteignant le niveau de la minéralisation de Veza. B) Hydrothermalisme tardif n'affectant que partiellement les roches mais causant le lessivage des métaux As-Au-Ag-Mo-Cu-Mn-Te-Pb-Bi-Sb aux bordures des grains de pyrites.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Agnerian, A., Roscoe, W.E., Mills, J.P. et Gaunt, J.E. (1989). Vezza Gold. *The Northern Miner Magazine*.
- Augustin, J. (2011). Facteurs de contrôle et processus métallogéniques des minéralisations aurifères du gisement de Wona, Mine Mana, Burkina Faso. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi.
- Augustin, J., Gaboury, D., et Crevier, M. (2016). The world-class Wona-Kona gold deposit, Burkina Faso. *Ore Geology Reviews*, 78, 667-672.
- Byerlee, J., (1993). Model for episodic flow of high pressure water in fault zone before earthquake. *Geology*, 21, 303-306.
- Card, K.D., Poulsen, K.H., et Robert, F. (1989). The Archean Superior Province of the Canadian Shield and its lode gold deposits. The geology of gold deposits: the perspective in 1988. Éditeurs : R.R. Keays, W.R.H. Ramsay et D.I. Groves. *Economic Geology*, Monograph 6, 19-36.
- Chown, E.H., Daigneault, R., Mueller, W., et Mortensen, J.K. (1992). Tectonic evolution of the northern volcanic zone, Abitibi belt, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(10), 2211-2225.
- Cox, S.F., Knackstedt, M.A., et Braun, J. (2001). Principles of structural control on permeability and fluid flow in hydrothermal systems. *Society of Economic Geologists Reviews* 14, 1–24.
- Daigneault R., Mueller W.U., et Chown E.H. (2002). Oblique Archean subduction: accretion and exhumation of an oceanic arc during dextral transpression, Southern Volcanic Zone, Abitibi Greenstone Belt, Canada. *Precambrian Research* 115, 261-290.
- Daigneault R., Mueller W.U., et Chown E.H. (2004). Abitibi greenstone belt plate tectonics: the diachronous history of arc development, accretion and collision. *The Precambrian Earth: Times and Events*. Éditeurs : Eriksson, P.G., Altermann, W., Nelson, D.R., Mueller, W.U., Catuneanu, O., et Strand, K. Developments in Precambrian Geology Series, Elsevier, volume 12 chapitre 2.4, 88-103.
- Davis, D.W. (1992). U-Pb dating of detrital zircon in sediments in the Pontiac and Abitibi subprovinces; preliminary results. *Litoprobe*, Report 19, 33-35.
- Dubé, B., Guha, J., et Rocheleau, M. (1987). Alteration patterns related to gold mineralization and their relation to CO₂/H₂O ratios. *Mineralogy and Petrology*, 37, 267-291.
- Dube, L. M., Hubert, C., Brow, A.C., et Simard, J.M. (1991). The Telbel orebody of the Agnico-Eagle Mine in the Joutel area of the Abitibi greenstone-belt, Quebec, Canada – A stratabound, gold-bearing massive siderite deposit with early diagenetic pyritization. *Ladeira, E.A. (Ed.), Brazil Gold'91*, 493-498.
- Dussault, C. (1990). Géologie de la région de Vezza-Le Tardif, Projet Vezza-Bruneau, Phase 1. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, MB 90-43, p.35.

- Fournier, R.O., et Potter, R.W. (1982). An equation correlating the solubility of quartz in water from 25" to 900°C at pressures up to 10000 bars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 46.
- Friedman, G.M. (1959). Identification of carbonate minerals by staining methods. *Journal of sedimentary petrology*, Vol. 20(1), 87-97.
- Gaboury, D. (2011). Gold exploration in metamorphic terrains using fluid inclusion compositions in quartz: Signification of their volatile content. World Gold 2011 International congress, 12 pages.
- Gaboury, D. (2013). Does gold in orogenic deposits come from pyrite in deeply buried carbon-rich sediments?: Insight from volatiles in fluid inclusions. *Geology*, 41(12), 1207-1210.
- Gaboury, D. et Daigneault, R. (2000). Flat vein formation in a transitional crustal setting by self-induced fluid pressure equilibrium - an example from the Geant Dormant gold mine, Canada. *Ore Geology Reviews* 17(3): 155-178.
- Gaboury, D., Keita, M., Guha, J., et Lu, H.Z. (2008). Mass spectrometric analysis of volatiles in fluid inclusions decrepitated by controlled heating under vacuum. *Economic Geology*, Vol. 103, 439-443.
- Gauthier, J., Genest, R., et Vermette, D. (1997). Mines Agnico-Eagle Ltée. Étude de faisabilité Projet Vezza Octobre 1997. Agnico-Eagle Limited internal unpublished report.
- Genna, D. et Gaboury, D. (2015). Deciphering the hydrothermal evolution of a VMS system by LA-ICP-MS using trace elements in pyrite: An example from the Bracemac-McLeod deposits, Abitibi, Canada, and implications for exploration. *Economic Geology*, 110(8), 2087-2108.
- Gross, G.A. (1996). Algoma-type iron formation in selected British Columbia mineral deposit profiles, Vol.2 – Metallic deposit, Lefebvre, D.V. and Hoy, T, Éditeur, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File, 1996-13, 54-66.
- Groves, D. I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., et Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* 13(1-5), 7-27.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., et Hart, C.J.R. (2003). Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists* 98(1): 1-29.
- Hagemann, S.G. et Brown, P.E. (1996). Geobarometry in Archean lode-gold deposits. *European Journal of Mineralogy* 8(5), 937-960.
- Hodkiewicz, P.F., Groves D.I., Davidson G.J., Weinberg R.F., et Hagemann S.G. (2009). Influence of structural setting on sulphur isotopes in Archean orogenic gold deposits, Eastern Goldfields

- Province, Yilgarn, Western Australia. *Miner Deposita* 44, 129–150.
- Ispolatov, V., Lafrance, B., Dube, B., Creaser, R., et Hamilton, M. (2008). Geologic and Structural Setting of Gold Mineralization in the Kirkland Lake-Larder Lake Gold Belt, Ontario. *Economic Geology*, 103(6), 1309-1340.
- Kerrick, R., et Cassidy, K.F. (1994). Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation - Archean to present: A review. *Ore Geology Reviews*, 9, 263–310.
- Kerrick, R., Goldfarb, R., Groves, D., Garwin, S., et Jia, Y. (2000). The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces. *Science in China Earth Sciences* 43, 1-68.
- Kerswill, J.A. (1996). Iron-formation-hosted stratabound gold; in *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, (ed.) O.R. Echstrand, W.D. Sinclair, R.I. Thorpe. *Geological Survey of Canada, Geology of Canada* no.8, 367–382.
- Lacroix, S., Simard, A., Pilote, P. et Dube, L.M. (1990). Regional geologic elements and mineral resources of the Harricana-Turgeon Belt, Abitibi of NW Québec. Institut canadien des mines et de la métallurgie, Volume spécial 43.
- Langm J.R., et Baker, T. (2001). Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineralium Deposita* 36, 477-489.
- Large, R.R., Bull, S.W., et Maslennikov, V. (2011). A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits: *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, Vol.106, pp.331–358.
- Legault, M., Gauthier, M., Jebrak, M., Davis, D.W., et Baillargeon, F. (2002). Evolution of the subaqueous to near-emergent Joutel volcanic complex, Northern Volcanic Zone, Abitibi Subprovince, Quebec, Canada. *Precambrian Research* 115(1-4): 187-221.
- Liu, L.M., Peng, S.L., et Yang, Q.Z. (2001). Source and location mechanism for lode gold deposits hosted in metamorphic rocks in northeastern Hunan, China. *Journal of Central South University of Technology* 8(2), 108-113.
- Ludden, J., Hubert, C., et Gariépy, C. (1986). The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada. *Geological Magazine*, 123, 153-166.
- Mortensen, J.K. (1993). U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 1: Chibougamau-Matagami-Joutel region. *Revue canadienne des sciences de la terre*, 30, 11-28.
- Mueller, W.U., Daigneault, R., Mortensen, J.K., et Chown, E.H. (1996). Archean terrane docking: upper crust collision tectonics, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Tectonophysics*, 265, 127-150.
- Mikucki, E.J. (1998). Hydrothermal transport and depositional processes in Archean lode-gold systems:

- A review. *Ore Geology Reviews* 13(1-5), 307-321.
- Neumayr, P., Hagemann, S.G., et Couture, J.F. (2000). Structural setting, textures, and timing of hydrothermal vein systems in the Val-d'Or camp, Abitibi, Canada: Implications for the evolution of transcrustal, second- and third-order fault zones and gold mineralization: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 37, 95–115
- Neumayr, P., et Hagemann, S.G. (2002). Hydrothermal fluid evolution within the Cadillac tectonic zone, Abitibi greenstone belt, Canada: Relationship to auriferous fluids in adjacent second- and third-order shear zones. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 97(6), 1203-1225.
- Olivo, G.R., et Williams-Jones, A.E. (2002). Genesis of the auriferous C quartz-tourmaline vein of the Siscoe mine, Val d'Or district, Abitibi subprovince, Canada: Structural, mineralogical and fluid inclusion constraints. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists* 97(5), 929-947.
- Pearce, J.A. (1996). A user's guide to basalt discrimination diagrams. Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulfide exploration. *Geological Association of Canada*, short course notes 12, 79- 113.
- Phillips, G.N., et Powell, R. (2009). Formation of gold deposits: Review and evaluation of the continuum model. *Earth-Science Reviews* 94(1-4), pp.1-21.
- Phillips, G.N., et Powell, R. (2010). Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model. *Journal of Metamorphic Geology* 28(6), pp.689-718.
- Phillips, G.N., et Powell, R. (2011). Origin of Witwatersrand gold: a metamorphic devolatilisation–hydrothermal replacement model. *Applied Earth Science*, 120(3), 112-129.
- Piché, M., Guha, J., Daigneault, R., Sullivan, J.R., et Bouchard, G. (1990). Les gisements volcanogènes du camp minier de Matagami : Structure, stratigraphie et implications métallogéniques. Dans : La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois : Synthèse de 60 ans d'exploration minière. *L'Institut canadien des mines et de la métallurgie*, volume spécial 43, 327-335.
- Pilote, P., Guha, J., Daigneault, R., Robert, F., et Golightly, J.P. (1990). Structural context and gold mineralisation of the Casa-Berardi deposits in Abitibi, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences* 27(12), 1672-1685.
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal Processes and Mineral Systems, *Geological Survey of Western Australia*, 1270p.
- Pitcairn, I.K., Olivo, G.R., Teagle, D.A.H., et Craw, D. (2010). Sulfide evolution during prograde metamorphism of the Otago and Alpine Schists, New Zealand. *Canadian Mineralogist*, 48, 1267–1295.

- Poulsen, K.H., Robert, F., et Dube, B. (2000), Geological classification of Canadian gold deposits. *Geological Survey of Canada*, Bulletin 540, 106p.
- Proulx, M. (1989). Le corridor de déformation de Cameron: un nouveau cisaillement sudest minéralisateur d'importance régionale. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, PRO 89-05, 5p.
- Proulx, M. (1990). Le corridor de déformation de Cameron: une discontinuité SE aurifère et polymétallique. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, PRO 90-04, 5p.
- Robert, F., et Poulsen, K.H. (1997). World-class Archaean gold deposits in Canada: An overview. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3), 329-351.
- Ross, P. S., et Bédard, J. H. (2009). Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 46(11), 823-839.
- Roy, P. (2000). Les minéralisations aurifères associées au Couloir de déformation de Cameron, Lebel-sur-Quévillon, Québec. Faculté de science et génie, Université Laval. 244p.
- Salmon, B., et Pelz, P. (2010). Technical report on the mineral resource estimate of the Vezza project, Québec, Scott Wilson RPA, NI-43-101 report, 177p.
- Sibson R.H., Robert F., et Poulsen K.H. (1988). High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology* 16, 551-555.
- Simard, M. (2011). Multi-événements de déformation, de métamorphisme et d'hydrothermalisme à l'origine du gisement Lapa. Thèse de doctorat, Université du Québec à Chicoutimi, Université du Québec à Montréal, 360p.
- Simard, M., Gaboury, D., Daigneault, R., et Mercier-Langevin, P. (2013). Multistage gold mineralization at the Lapa mine, Abitibi Subprovince: insights into auriferous hydrothermal and metasomatic processes in the Cadillac–Larder Lake Fault Zone. *Mineralium Deposita*, 48(7), 883-905.
- Tomkins, A.G. (2010). Windows of metamorphic sulfur liberation in the crust: Implications for gold deposit genesis: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 3246–3259.
- Tremblay, A. (2001). Postmineralization faults in the Beaufor gold deposit, Abitibi greenstone belt, Canada: Geometry, origin, and tectonic implications for the Val-d'Or mining district. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists* 96(3), 509-524.
- Williams-Jones, A.E., Howell R.J., et Migdisov, A.A. (2009), Gold in Solution: *Elements*, 5, 281-287.
- Wilkinson, J.J. et Johnston, J.D. (1996). Pressure fluctuations, phase separation, and gold precipitation during seismic fracture propagation. *Geology* 24, 395-398.
- Winchester, I.A., et Floyd, P.A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their

differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.

ANNEXE A - Description et localisation des échantillons

ID	Forage	Profondeur (m)	Lithologie	Description
V-11-01	V-11-243	511,00 – 511,30	Basalte	Basalte aphanitique, Mt+, Car.
V-11-02	V-200-106B	102,15 - 102,57	Grauwacke	Roche de couleur pâle, légèrement séricitisée, avec fragments lithiques grossiers et variés.
V-11-03	V-11-244	39,21 - 39,63	Grauwacke	Gris moyen à foncé, de granulométrie grossière, tr-1% de pyrite grossière cubique.
V-11-04	V-11-244	27,00 - 27,37	Grauwacke	Roche à granulométrie fine, avec un patron d'altération oeilé.
V-11-05	V-11-244	74,80 - 75,25	Argilite/Siltstone	Couleur gris foncé, à dureté élevée, montrant une granulométrie de mudstone à siltstone.
V-11-06	V-11-239	47,24 - 47,49	Grauwacke/Siltstone	Alternance d'horizons S3-S10 de 2 à 8 cm, séricitisée.
V-11-07	V-11-241	154,30 - 154,58	Grauwacke minéralisé	Zone minéralisée avec pyrite, arsenopyrite et tourmaline au croisement de deux veinules de quartz.
V-11-08	V-11-241	153,20 - 153,40	Grauwacke minéralisé	Roche minéralisée avec 30% pyrite et pyrrhotine dans forte silicification.
V-11-09	V-300-146	18,00 - 18,30	Basalte	Lave(?), phanéritique, couleur sel et poivre, matrice vert foncé, granulométrie moyenne, tr Py, faiblement MAG.
V-11-10	V-300-146	23,00 - 23,30	Basalte	Vert foncé, aphanitique, phénocristaux de Pg, faiblement MAG.
V-11-11	V-300-145	42,5 - 42,8	Intrusion felsique	Roche de couleur gris pâle, aphanéritique, à phénocristaux de Qz et Pg, dureté élevée, non-MAG.
V-11-12	V-11-243	219,25 - 219,55	Formation de fer	Alternance de fins horizons de jaspe et de plus larges horizons de magnétite et hématite.
V-11-13	Niveau 650	Niche Alimak	Cisaillement graphiteux	Zone de cisaillement à graphite avec Py nodulaire et zonée. Localement, Asp et Po, dans une matrice de graphite et de verre tectonique (?).
V-12-08	V-10-212	116,50 - 117,00	Formation de fer et grauwacke minéralisé	Roche composée de Qz à granulométrie fine (sil+chert?), avec des horizons de grauwackes plus grossiers contenant des Xt de Pg. Quelques horizons riches en Py avec veinules bréchiques de Qz-Cb-Py. Les veinules les plus fines sont composées exclusivement de carbonates.

ID	Forage	Profondeur (m)	Lithologie	Description
V-12-20	V-300-102	157,21 - 158,14	Basalte minéralisé	Basalte minéralisé au contact avec les roches sédimentaires. Sil+, Ank+, 1-2% Py.
V-12-22	V-300-102	163,50 - 164,14	Grauwacke et chert minéralisés	Roche minéralisée constituée d'une matrice de fin Xt de Qz, de forte proportion de Cb (20-30%) et de Py (10%) dans une matrice séricitisée.
V-12-31	V-550-017	91,59 - 92,00	Formation de fer altérée et minéralisée	Formation de fer minéralisée montrant des alternances de lits riches en Qz-Cb et de lits riches en Py-Cb-Qz.
V-12-39	V-300-112	402,25 - 403,50	Grauwacke minéralisé	Roche à grains fins, minéralisée et altérée, composée de fins Xt de Cb, Qz et Pg albitisés, 5-7% de Py, tr Asp-Po.
V-12-40	V-300-112	405,00 - 405,50	Argilite/Grauwacke altérés	Alternance de grauwacke et d'argilite. Échantillon fortement altéré en séricite-chlorite et recoupé par des veinules riches en Asp.
V-12-53	V-10-192	114,68 - 115,15	Silstone altéré	Roche constituée de fins cristaux de Qz, Cb avec 2-3% Py et 1-2% d'Asp et recoupée par des veinules de Qz-Cb.
V-12-56	V-10-192	118,75 - 118,97	Cisaillement graphiteux	Roche fortement cisailée, composée de graphite, chlorite, séricite avec 2-4%. Py avec allongement parallèle aux rubans phyllosilicates.
V-12-57	V-10-192	122,76 - 123,06	Cisaillement graphiteux	Roche fortement carbonatée et cisailée, composée de graphite, chlorite, séricite avec 2-4% Py.
V-12-106	V-300-090	69,10 - 69,45	Grauwacke minéralisé	Grauwacke minéralisé avec une forte carbonatation et une forte silicification, 2-3% Py.
V-12-110	V-300-090	73,45 - 73,88	Grauwacke minéralisé	Roche constituée de quartz (65%) et de pyrite (20%) et de carbonates (15%). Possible de formations de fer ?
V-12-136	V-10-186	167,02 - 167,30	Cisaillement graphiteux minéralisé	Roche à grains fins fortement carbonatée-silicifiée, avec 5-7% de Py. Recoupée par des veinules de chlorite-séricite-graphite.
V-12-137	V-10-186	167,60 - 167,81	Cisaillement graphiteux minéralisé	Roche à grains fins fortement carbonatée, avec 4-5% de Py. Recoupée par des veinules de chlorite-séricite-graphite.

ID	Forage	Profondeur (m)	Lithologie	Description
V-12-139	V-10-186	169,00 - 169,27	Cisaillement graphiteux minéralisé	Roche à grains fins fortement carbonaté-silicifié, avec 5-7% de Py avec chlorite-séricite-graphite pénétrante.
V-12-162	V-550-042	113,97 - 114,25	Grauwacke minéralisé	Grauwacke fortement carbonaté, modérément silicifiée, 2-4%Py.
V-12-168	V-550-042	117,21 - 117,38	Grauwacke minéralisé	Grauwacke fortement silicifié, Py+++.

ANNEXE B - Géochimie roche totale

Analyse	ME-MS61	MEMS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Élément	Au ppm	Au ppm	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Ce ppm	Co ppm
V-11-01	-0,005		0,07	7,12	-0,2	10	0,24	0,02	4,59	0,07	8,22	52,6
V-11-02	0,023		0,09	7,7	10,6	320	0,89	0,08	2,79	0,1	28,9	16,4
V-11-03	-0,005		0,07	8,37	16,1	820	1,22	0,11	3,49	0,04	85,7	22,3
V-11-04	0,005		0,06	8,22	1	820	1,12	0,07	3,35	0,05	75,6	16,6
V-11-05	-0,005		0,09	9,01	24	690	1,66	0,08	1,78	0,06	133	16,9
V-11-06	-0,005		0,11	7,82	30,2	790	1,28	0,15	3,12	0,07	94,8	19,4
V-11-07	4,45	4,28	0,9	5,52	1785	150	0,9	0,06	1,83	0,17	29,3	11,7
V-11-08	>10.0	51,8	9,75	2,79	>10000	200	0,93	0,15	1,37	-0,02	27,2	7,8
V-11-09	0,094		0,07	8,66	97,9	40	0,17	0,04	7	0,03	4,16	59
V-11-10	0,025		0,07	9,87	21,4	70	0,35	0,01	6,22	0,04	6,26	48,1
V-11-11	0,101		0,03	8,1	40,8	140	0,44	0,02	0,67	0,03	5,31	3,4
V-11-12	-0,005		0,11	0,18	1,4	10	0,18	0,01	1,99	0,02	4,68	0,9
V-11-13	0,104		1,5	0,84	229	10	0,08	1,18	0,56	0,24	8,23	154
V-12-08	5,32		1,39	6,51	437	450	1,61	0,19	2,36	0,11	42,4	19,3
V-12-20	2,74		1,56	6,71	296	290	1,44	0,24	4,01	0,2	23,3	46,9
V-12-22	6,94		2,16	6,07	462	280	1,65	0,14	3,24	0,23	32,3	30
V-12-31	1,025		0,36	4,4	27,9	260	0,87	0,17	1,63	0,02	38,2	11,9
V-12-39	8,11		1,61	5,24	140,5	100	3,39	0,03	5,26	0,09	5,02	31,5
V-12-40	0,024		0,08	8,08	527	430	0,7	0,05	5,29	0,16	41,5	56,8
V-12-53	0,091		0,15	7,58	87,1	680	2,87	0,18	1,89	0,2	36,9	18,6
V-12-56	5,24		1,81	6,42	139	620	2,3	0,13	4,05	0,16	28,6	44
V-12-57	7,25		2,25	6,37	261	330	1,35	0,23	4,74	0,15	19,7	43,5
V-12-106	2,42		0,99	6,36	157	110	1,07	0,11	2,53	0,06	44,4	18,1
V-12-110	1,97		0,71	4,89	94,5	400	1,08	0,26	2,66	-0,02	35,4	15,8
V-12-136	>10.0		2,03	5,63	219	410	2,49	0,13	3,09	0,15	25,3	21,8
V-12-137	>10.0	17,85	2,79	6,08	718	310	4,23	0,19	4,29	0,18	20,2	40,1
V-12-139	8,94		1,6	6,07	611	130	4,54	0,2	3,9	0,09	21,9	33,9
V-12-162	0,362		0,31	5,98	762	100	1,4	0,04	5,3	0,06	6,64	44,1
V-12-168	NSS		2,36	5,56	142,5	200	1,8	0,14	3,16	0,1	21,6	17,9

Analyse	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Élément	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg
	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%
V-11-01	41	0,4	136	9,17	15,75	0,13	0,6	0,064	0,03	2,9	45,4	4,9
V-11-02	60	3,57	37,3	3,35	19,05	0,13	2,4	0,029	1,61	12	3,7	0,7
V-11-03	138	3,22	27,5	4,2	22,3	0,18	3,3	0,036	1,48	36,3	37,3	2,65
V-11-04	87	3,8	24,6	3,36	21,7	0,19	3,1	0,031	1,17	32,8	42,4	1,72
V-11-05	85	4,1	48,8	3,17	25,3	0,28	4,5	0,037	1,75	57	47,5	1,59
V-11-06	85	6,55	41,5	3,74	22,8	0,22	3,9	0,034	2,28	39,9	33,1	1,29
V-11-07	58	0,67	25,8	2,6	14,7	0,11	1,6	0,023	0,2	13,5	4,1	0,74
V-11-08	28	0,77	114,5	19	8,59	0,35	1,1	0,043	0,22	13	39,1	0,86
V-11-09	247	0,38	96,5	8,54	18,05	0,17	0,6	0,06	0,02	1,4	30,6	5,55
V-11-10	243	0,32	126	6,5	18,1	0,11	0,3	0,051	0,03	2,1	24,3	2,32
V-11-11	16	0,67	5,9	1,2	16,85	0,05	1,9	0,005	0,24	2,2	13,3	0,34
V-11-12	5	0,15	2,1	40,8	1,06	0,64	-0,1	-0,005	0,01	2,3	1,2	0,06
V-11-13	9	0,38	82,8	37,2	2,64	0,62	0,5	0,09	0,01	4,2	3,6	0,3
V-12-08	65	2,84	39,2	5	18,1	0,12	2,7	0,025	0,82	19,6	4,8	1,13
V-12-20	140	1,59	117,5	6,68	22	0,11	2	0,047	0,35	10,4	19,5	1,88
V-12-22	101	2,01	57,9	4,6	21,4	0,11	2,5	0,041	0,56	15,4	8,9	1,49
V-12-31	44	1,92	31,3	15,75	13,35	0,13	1,9	0,012	0,43	19	9,4	1,01
V-12-39	33	0,59	130	6,37	15,3	0,11	0,7	0,048	0,09	2	5,1	2,3
V-12-40	246	6,1	89,7	5,55	20,3	0,12	2,6	0,056	0,94	17,1	38,3	1,97
V-12-53	81	3,68	32,6	3,1	20,8	0,11	3	0,026	1,25	16,6	4,7	0,99
V-12-56	189	3,16	76,1	5,62	20,1	0,11	1,8	0,082	0,83	13,2	13,1	1,78
V-12-57	119	2,09	139,5	7,45	18,35	0,18	1,7	0,071	0,5	9,7	6,3	1,81
V-12-106	96	0,77	35,9	3,38	21,8	0,11	2,8	0,012	0,19	21,9	2,9	1,26
V-12-110	37	2,34	43,1	11,4	17,35	0,13	2	0,009	0,79	16,8	4,9	1,11
V-12-136	78	2,48	71,3	3,98	19,05	0,13	1,7	0,038	1,07	13,4	3,7	1,2
V-12-137	102	2,28	79,7	6,76	20,9	0,17	1,4	0,051	0,81	10,4	3,8	1,67
V-12-139	112	0,76	45,4	5,32	24,6	0,15	1,4	0,03	0,24	11,4	2,2	1,47
V-12-162	29	1,01	102	7,92	14,4	0,1	1	0,048	0,23	2,5	14,1	3,54
V-12-168	72	1,26	25,8	3,76	20,2	0,11	1,8	0,024	0,31	10,8	2,3	1,24

Analyse	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Élément	Mn ppm	Mo ppm	Na %	Nb ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	Rb ppm	Re ppm	S %	Sb ppm	Sc ppm
V-11-01	1400	0,18	1,6	0,9	48,6	250	0,7	1,1	0,002	0,06	3,67	43,9
V-11-02	604	0,37	3,87	2,9	41	440	5,9	50,8	-0,002	0,6	2,52	10,1
V-11-03	628	0,43	3,49	4,5	87,9	1090	7,4	28	-0,002	0,11	4,05	11,7
V-11-04	530	0,34	3,78	4,2	60,3	920	8,5	24,8	-0,002	0,04	3,49	9
V-11-05	405	0,35	3,88	5,5	57,7	1710	8,4	54,4	-0,002	0,07	0,71	10,5
V-11-06	630	0,28	2,54	4,6	67,1	1480	11	73	-0,002	0,27	0,87	10,5
V-11-07	451	2,6	4,18	1,6	36,1	150	14,2	6	-0,002	1,02	10,4	7
V-11-08	456	5,42	0,45	1,4	23,2	1050	25,8	6,6	-0,002	>10.0	23,6	5
V-11-09	1560	0,23	1,67	1,5	126,5	170	1,9	0,5	0,002	0,04	1,51	37
V-11-10	1710	0,15	3,79	2,1	84,4	200	0,8	0,3	-0,002	0,02	3,43	36,1
V-11-11	139	0,49	6,79	1,1	5,6	210	1,7	7,8	-0,002	0,08	0,98	2,2
V-11-12	161	0,34	0,01	0,6	1,9	840	5,1	0,3	-0,002	0,06	3,49	0,6
V-11-13	1280	1,82	0,01	1	119,5	90	86,6	0,6	0,004	>10.0	133,5	2,5
V-12-08	658	5,71	3,86	2,9	53,4	540	17,9	26,6	0,002	1,78	17,1	10,3
V-12-20	1140	5,27	3,95	5	136,5	470	21	13,7	0,003	2,63	6,91	26,7
V-12-22	888	5,64	3,78	3,4	79,3	380	13,4	17,4	0,002	1,63	5,03	16,4
V-12-31	465	1,33	2,55	2,3	39,2	730	20,6	20,3	-0,002	1,2	7,92	6,8
V-12-39	1280	4,31	4,13	0,9	38,1	10	7,2	3,7	-0,002	2,03	17,9	31,6
V-12-40	1290	0,42	1,65	8,6	219	580	3,9	41,2	0,002	0,46	16,6	28
V-12-53	506	1,34	4,08	2,7	61,3	500	6,4	38,5	0,004	0,37	6,12	11,5
V-12-56	1040	4,69	2,89	4,9	122,5	1700	14,2	33,2	0,004	2,15	7,73	25,8
V-12-57	1340	31,3	4,1	2,5	150	70	13,7	18,8	0,004	3,63	6,64	27,9
V-12-106	587	2,8	4,87	2,2	48,1	200	5,3	6,5	-0,002	0,73	4,36	11,1
V-12-110	610	1,08	2,39	1	47,3	520	8,4	31,3	-0,002	2,03	2,01	6,2
V-12-136	793	29	2,9	2,5	62	30	24,3	29	0,003	2,4	39,1	14,9
V-12-137	1220	20,3	3,67	3,1	112,5	220	27,9	24,1	0,002	5,1	54	23,5
V-12-139	1040	34,5	4,65	3,3	107,5	30	20,4	8	0,004	3,7	47,9	19,7
V-12-162	1690	0,48	3,69	1,7	44,7	140	6,1	8,8	-0,002	0,28	4,72	36
V-12-168	632	26,4	4,68	2,1	57,6	20	7,6	6,9	-0,002	1,99	13,6	12,6

Analyse	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Élément	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Te ppm	Th ppm	Ti %	Tl ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm
V-11-01	-1	0,2	107	0,07	-0,05	0,3	0,198	-0,02	0,1	273	0,3	8,8
V-11-02	-1	0,7	432	0,24	-0,05	1,8	0,241	0,44	0,5	77	5	7
V-11-03	-1	0,7	1060	0,29	-0,05	5,1	0,381	0,2	1,3	96	1,4	12,6
V-11-04	-1	0,7	1180	0,27	-0,05	4,8	0,325	0,17	1,1	78	0,9	11,1
V-11-05	1	0,9	714	0,37	-0,05	10,4	0,357	0,27	2,2	91	1	15,2
V-11-06	1	0,8	707	0,3	0,06	6,3	0,313	0,59	1,4	96	0,6	13
V-11-07	1	0,4	290	0,13	0,1	3	0,113	0,05	0,8	60	6,8	4,9
V-11-08	10	0,7	98,7	0,09	0,13	3	0,065	0,07	0,9	101	8,9	5,3
V-11-09	2	0,3	150	0,1	-0,05	-0,2	0,386	-0,02	0,1	269	0,3	13,4
V-11-10	1	0,5	172	0,15	0,05	0,2	0,417	-0,02	-0,1	211	0,2	13,6
V-11-11	-1	0,3	104	0,07	-0,05	0,5	0,071	0,03	0,3	12	1,8	1,7
V-11-12	-1	-0,2	545	-0,05	-0,05	-0,2	0,006	-0,02	-0,1	5	0,9	3,5
V-11-13	7	0,6	8,1	0,05	0,85	0,6	0,034	1,74	0,3	12	0,3	3,4
V-12-08	1	0,9	275	0,2	0,24	4,2	0,181	0,2	1,1	86	10	7
V-12-20	2	1,3	253	0,29	0,18	1,4	0,584	0,1	0,5	244	31,7	6,8
V-12-22	1	0,7	330	0,24	0,09	3,8	0,258	0,15	0,8	130	14,7	6,6
V-12-31	1	0,5	310	0,16	0,05	3,9	0,131	0,11	1,1	49	13,6	8,2
V-12-39	2	0,4	427	0,05	0,16	0,2	0,174	0,02	0,1	73	13,8	3,2
V-12-40	-1	0,8	245	0,49	0,11	1,3	0,707	0,19	0,3	233	4,1	8,3
V-12-53	-1	1	315	0,21	0,17	3,3	0,181	0,3	0,9	121	12,6	7
V-12-56	2	1,1	312	0,27	0,42	1,7	0,454	0,22	0,5	227	18,9	7,8
V-12-57	3	0,8	282	0,13	0,71	1,7	0,345	0,12	0,4	179	15,5	5,8
V-12-106	1	0,5	376	0,17	0,23	5,5	0,138	0,05	1,4	78	6,7	7,5
V-12-110	1	0,6	301	0,07	0,06	4,4	0,058	0,2	1,3	50	4,7	6,2
V-12-136	3	0,8	360	0,16	0,89	2,7	0,212	0,21	0,7	93	13	4,9
V-12-137	5	0,8	482	0,16	1,62	1,8	0,312	0,16	0,6	103	14,8	5,7
V-12-139	3	1,4	418	0,18	1,16	1,9	0,291	0,07	0,5	117	21,4	4,6
V-12-162	1	0,6	386	0,11	0,12	0,2	0,387	0,04	0,1	216	51,8	4,2
V-12-168	2	0,5	363	0,17	0,47	3,2	0,135	0,07	0,7	61	7,2	4,4

Analyse	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81
Élément	Zn	Zr	Ag	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
V-11-01	74	17,4	-1	10	6	46,5	50	0,36	119	2,83	1,88	0,6
V-11-02	77	82,4	-1	335	33,5	17,3	80	3,62	34	1,99	1,04	1,04
V-11-03	88	112,5	-1	840	90,9	24,7	190	3,32	25	2,48	1,01	1,83
V-11-04	71	104,5	-1	860	81,9	17,7	120	3,99	22	2,13	0,92	1,74
V-11-05	73	162,5	-1	717	133	17,9	120	4,17	43	2,83	1,11	2,39
V-11-06	81	139,5	-1	843	115,5	21	120	7,05	38	2,87	1,16	2,17
V-11-07	72	56,2	1	155	30,3	12,8	80	0,73	23	1,25	0,66	0,58
V-11-08	27	39,7	7	206	24,1	8,5	40	0,73	101	1	0,54	0,62
V-11-09	81	17,4	-1	36,8	4,3	60,9	340	0,52	76	2,25	1,45	0,54
V-11-10	77	7,8	-1	80	6,8	54,3	360	0,36	117	2,36	1,4	0,64
V-11-11	24	52,2	-1	142	5	3,4	20	0,71	5	0,29	0,16	0,15
V-11-12	-2	2,6	-1	8	4,3	1,3	10	0,17	-5	0,42	0,27	0,36
V-11-13	94	16,6	1	5,2	7,4	178	20	0,33	74	0,77	0,38	0,33
V-12-08	67	87,6	2	478	44,1	20,6	100	2,94	46	1,92	1,06	1,02
V-12-20	71	58	1	319	20,5	47,6	220	1,53	123	3,74	2,18	0,98
V-12-22	135	82,2	2	319	34,8	31,9	170	2,08	64	2,52	1,49	0,95
V-12-31	38	64,2	-1	284	34,6	11,8	60	1,83	33	1,29	0,76	0,87
V-12-39	48	26,8	1	104,5	4,5	34,2	50	0,55	122	1,86	1,26	0,45
V-12-40	105	80,9	-1	483	37,9	62,3	390	6,31	95	3,96	2,2	1,28
V-12-53	126	91,2	-1	728	40,8	19	120	3,95	37	1,83	1,05	0,95
V-12-56	99	60,9	1	682	26,5	46,6	290	3,14	83	3,42	1,92	1,22
V-12-57	95	59,5	1	334	19,5	46,9	170	2	117	3,64	2,2	0,92
V-12-106	35	97	-1	119	44,7	19,9	150	0,81	42	2,03	1,17	0,91
V-12-110	39	63,4	1	436	32,1	15,8	50	2,27	45	1,21	0,69	0,78
V-12-136	77	62,6	2	432	30,7	24	130	2,3	60	1,84	1,06	0,7
V-12-137	87	52,4	3	326	25,8	47,1	180	2,17	68	2,62	1,51	0,82
V-12-139	46	52,7	2	136	26,6	38,7	200	0,73	39	2,45	1,36	0,81
V-12-162	72	24,4	-1	112	7,4	49,6	50	0,97	106	3,02	1,88	0,82
V-12-168	45	65,8	1	211	32,5	19,3	120	1,24	21	1,74	0,98	0,63

Analyse	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81
Élément	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Mo ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pr ppm
V-11-01	14,6	2,41	1,3	0,64	2,3	0,28	-2	1,8	4,8	45	-5	0,92
V-11-02	18,5	2,51	3	0,4	15,6	0,19	-2	3,8	16,7	41	11	4,39
V-11-03	21,8	4,35	3,6	0,43	40,2	0,16	-2	4,5	45	90	8	11,8
V-11-04	21,2	3,61	3,3	0,37	37,5	0,13	-2	4,2	40	62	9	10,5
V-11-05	23,7	5,41	4,4	0,48	61,3	0,17	-2	5,4	62,6	57	10	16,8
V-11-06	22,9	5,17	4	0,49	52,7	0,18	-2	5,1	55,7	68	17	14,85
V-11-07	14,3	1,47	2	0,25	14,7	0,12	3	2,8	12,9	38	29	3,62
V-11-08	9	1,27	1,2	0,2	12,1	0,1	6	2,1	10,1	23	47	2,86
V-11-09	16,5	1,72	0,8	0,5	1,6	0,28	-2	1,3	3,5	118	9	0,73
V-11-10	18,7	2,06	1,1	0,49	2,6	0,24	-2	2,1	5,3	91	-5	1,13
V-11-11	15,6	0,45	1,9	0,05	2,2	0,02	-2	1,2	2,7	6	-5	0,66
V-11-12	1	0,43	-0,2	0,11	2,2	0,06	-2	0,2	2,1	-5	7	0,55
V-11-13	2,6	0,75	0,6	0,15	3,7	0,08	2	1,2	3,7	131	80	0,96
V-12-08	18,7	2,63	2,7	0,4	21,3	0,15	6	4,3	21	54	20	5,57
V-12-20	20,8	3,52	1,8	0,82	9,1	0,28	5	5,8	12,2	140	21	2,88
V-12-22	21,9	2,77	2,5	0,53	17,2	0,19	6	5	16,4	82	11	4,32
V-12-31	13,1	1,87	1,9	0,27	16,7	0,1	-2	2,8	16,4	36	19	4,43
V-12-39	15,2	1,46	0,9	0,44	1,7	0,19	4	1,5	3,5	38	8	0,72
V-12-40	20,8	4,23	2,3	0,83	16,6	0,28	-2	12,7	20,4	244	-5	5,24
V-12-53	21	2,47	2,9	0,39	19,4	0,15	2	4,1	19,6	58	6	5,24
V-12-56	19,1	3,69	1,8	0,72	12	0,23	5	7,2	14,8	128	15	3,62
V-12-57	17,9	3,19	1,8	0,79	8,8	0,29	32	4	11,5	150	15	2,67
V-12-106	22,1	2,63	3,4	0,44	22,9	0,17	3	4,3	19,6	49	5	5,43
V-12-110	16,6	1,72	2,1	0,26	15,4	0,1	-2	2,6	15,3	46	8	4,06
V-12-136	19,8	2,24	2,1	0,37	14,9	0,16	31	4,1	13	59	27	3,62
V-12-137	21,2	2,96	2,7	0,55	12	0,22	21	5,7	12,1	110	32	3,19
V-12-139	25,5	2,66	1,8	0,5	12,3	0,19	37	5,8	12,1	107	23	3,29
V-12-162	15,4	2,65	1,3	0,64	2,7	0,28	-2	2,2	5,6	43	-5	1,16
V-12-168	20,2	2,14	2,3	0,35	15,3	0,15	28	4,1	13,9	53	7	3,88

Analyse	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81
Élément	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tl	Tm	U	V	W
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
V-11-01	0,9	1,49	-1	100,5	0,1	0,45	0,21	-0,5	0,29	0,06	267	-1
V-11-02	64,6	3,24	1	383	0,3	0,34	2,16	-0,5	0,17	0,62	85	6
V-11-03	45	7,52	1	905	0,3	0,49	5,49	-0,5	0,15	1,39	106	1
V-11-04	37,4	6,52	1	1045	0,2	0,43	5,12	-0,5	0,13	1,3	87	1
V-11-05	60,5	9,89	1	643	0,3	0,57	10,15	-0,5	0,16	2,33	98	1
V-11-06	98,2	9,11	1	646	0,3	0,56	7,45	0,5	0,17	1,83	109	1
V-11-07	7,4	2,3	1	268	0,2	0,22	3,07	-0,5	0,1	0,88	74	12
V-11-08	7,4	1,67	1	96,9	0,1	0,17	2,59	-0,5	0,09	0,8	110	13
V-11-09	0,6	1,2	-1	128,5	0,1	0,32	0,14	-0,5	0,24	0,05	251	-1
V-11-10	1,6	1,67	1	165	0,1	0,37	0,24	-0,5	0,2	0,05	237	-1
V-11-11	8,2	0,59	-1	99,6	0,1	0,06	0,41	-0,5	0,02	0,26	14	2
V-11-12	0,5	0,43	-1	478	-0,1	0,07	0,17	-0,5	0,05	-0,05	7	1
V-11-13	1,2	0,82	1	8,4	0,1	0,12	0,53	1	0,07	0,26	16	1
V-12-08	28,7	3,81	1	297	0,3	0,37	4,26	-0,5	0,15	1,34	107	15
V-12-20	12,2	3,05	1	270	0,3	0,59	1,25	-0,5	0,31	0,52	281	38
V-12-22	18,7	3,25	1	378	0,4	0,43	3,61	-0,5	0,21	1,02	157	22
V-12-31	18,2	2,84	1	342	0,2	0,25	3,29	-0,5	0,1	1,02	53	14
V-12-39	3,4	1,12	1	417	0,1	0,29	0,21	-0,5	0,19	0,09	99	28
V-12-40	39,1	4,24	1	267	0,7	0,69	1,17	-0,5	0,31	0,33	270	6
V-12-53	42,4	3,47	1	337	0,3	0,35	3,19	-0,5	0,15	1,05	136	21
V-12-56	30	3,49	1	325	0,4	0,59	1,35	-0,5	0,26	0,48	268	29
V-12-57	16,3	3,03	1	254	0,3	0,59	1,62	-0,5	0,3	0,45	213	26
V-12-106	7,4	3,46	1	435	0,3	0,38	5,44	-0,5	0,17	1,56	101	13
V-12-110	28,2	2,71	1	320	0,2	0,24	3,73	-0,5	0,1	1,17	58	11
V-12-136	31,3	2,46	1	368	0,3	0,32	3,07	-0,5	0,15	0,78	110	20
V-12-137	23,8	2,62	1	475	0,3	0,46	2,31	-0,5	0,22	0,69	128	26
V-12-139	7,7	2,49	2	434	0,3	0,41	2,07	-0,5	0,19	0,63	154	35
V-12-162	8,5	1,85	1	409	0,1	0,48	0,2	-0,5	0,28	0,05	276	55
V-12-168	11,3	2,58	1	381	0,3	0,31	4,68	-0,5	0,15	1,19	75	12

Analyse	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06
Élément	Y	Yb	Zn	Zr	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	Cr2O3
	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%
V-11-01	17	1,78	73	45	48	12,75	14,15	6,48	7,67	1,96	0,04	0,01
V-11-02	11,7	1,15	71	122	60,7	14,7	4,71	3,86	1,25	5,14	1,81	0,01
V-11-03	12,8	0,94	80	145	61,7	14,75	5,85	4,84	4,37	4,53	1,64	0,03
V-11-04	11,1	0,85	65	132	63,7	15,3	4,76	4,73	2,97	5,01	1,34	0,02
V-11-05	14,2	1,06	68	183	62,2	16,45	4,43	2,47	2,7	5,3	1,99	0,02
V-11-06	14,9	1,11	74	167	57,7	15,6	5,47	4,53	2,34	3,59	2,71	0,02
V-11-07	7,3	0,67	65	82	71,5	10,25	3,67	2,54	1,3	5,75	0,23	0,01
V-11-08	6,3	0,56	30	48	46,5	4,98	27,9	1,92	1,49	0,61	0,25	0,01
V-11-09	14,2	1,61	72	29	48,2	16,75	11,25	8,72	9,31	1,89	0,02	0,05
V-11-10	14,4	1,46	73	41	46,9	18,8	9,41	8,94	4,1	5,03	0,04	0,05
V-11-11	1,7	0,14	22	60	68,3	17,2	1,72	0,92	0,57	8,52	0,28	-0,01
V-11-12	3,6	0,32	-5	6	37,1	0,27	56,9	2,78	0,09	0,07	0,01	-0,01
V-11-13	5	0,45	80	25	14	1,42	53,1	0,81	0,53	0,05	0,01	-0,01
V-12-08	9,5	0,92	70	102	60,4	12,85	7,4	3,26	1,98	5,56	1,04	0,01
V-12-20	19	1,85	83	63	48,5	12,45	10,3	5,54	3,15	5,51	0,44	0,03
V-12-22	12,5	1,27	135	98	54,6	12,45	7,22	4,76	2,7	5,7	0,71	0,02
V-12-31	7,4	0,68	41	80	45,4	8,21	24,1	2,32	1,76	3,56	0,55	0,01
V-12-39	10,5	1,22	50	32	53,1	9,16	9,62	6,7	3,59	5,12	0,11	0,01
V-12-40	19,4	1,84	113	91	44,4	15,5	8,76	7,66	3,42	2,32	1,19	0,05
V-12-53	9,3	0,96	117	116	63,6	14,55	4,41	2,55	1,69	5,74	1,54	0,01
V-12-56	16,7	1,57	106	66	54,1	12	8,56	5,65	3,01	4,02	1,05	0,04
V-12-57	18,2	1,98	99	57	49,2	11,35	10,45	6,06	2,88	5,2	0,55	0,02
V-12-106	10,4	1,1	42	137	60,7	12,85	5,15	3,62	2,24	7,15	0,23	0,02
V-12-110	6,2	0,6	44	82	52,3	9,04	17	3,63	1,89	3,38	0,98	0,01
V-12-136	9,9	1,11	70	82	65,3	10,5	5,4	4,02	1,94	3,92	1,2	0,02
V-12-137	14	1,53	81	109								
V-12-139	13,1	1,34	49	67	57,8	11,4	7,57	5,18	2,44	6,52	0,28	0,02
V-12-162	16,7	1,94	70	46	40,8	11,25	12,45	7,79	6,06	5,56	0,28	0,01
V-12-168	9,3	1,07	45	90	64,2	11,3	5,1	4,07	2,03	6,26	0,36	0,01
Analyse	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	ME-ICP06	OA-GRA05	TOT-ICP06				

Élément	TiO2	MnO	P2O5	SrO	BaO	LOI	Total
	%	%	%	%	%	%	%
V-11-01	0,86	0,18	0,01	-0,01	-0,01	6,2	98,3
V-11-02	0,54	0,08	0,12	0,05	0,04	6,4	99,4
V-11-03	0,64	0,08	0,25	0,11	0,09	1,4	100,5
V-11-04	0,55	0,07	0,21	0,13	0,1	2,4	101,5
V-11-05	0,6	0,05	0,37	0,08	0,08	3,1	99,8
V-11-06	0,6	0,08	0,35	0,08	0,09	6,69	99,9
V-11-07	0,32	0,06	0,05	0,03	0,02	4,29	100
V-11-08	0,16	0,06	0,24	0,01	0,02	13,55	97,7
V-11-09	0,57	0,17	0,05	0,01	-0,01	4,1	101
V-11-10	0,71	0,23	0,07	0,02	0,01	5,7	100
V-11-11	0,12	0,02	0,01	0,01	0,02	1,2	98,9
V-11-12	0,01	0,03	0,27	0,05	-0,01	0,2	97,8
V-11-13	0,08	0,17	0,18	-0,01	-0,01	28,9	99,3
V-12-08	0,46	0,09	0,15	0,04	0,05	7,6	100,89
V-12-20	1,29	0,16	0,16	0,03	0,04	9,8	97,4
V-12-22	0,74	0,13	0,07	0,05	0,04	8,95	98,14
V-12-31	0,27	0,07	0,19	0,04	0,03	13,7	100,21
V-12-39	0,57	0,17	-0,01	0,05	0,01	10,6	98,81
V-12-40	1,89	0,19	0,17	0,03	0,05	13,3	98,93
V-12-53	0,47	0,07	0,14	0,04	0,08	5,76	100,65
V-12-56	1,28	0,15	0,41	0,04	0,08	9,87	100,26
V-12-57	1,08	0,17	0,02	0,03	0,04	10,2	97,25
V-12-106	0,49	0,08	0,12	0,05	0,01	6,24	98,95
V-12-110	0,26	0,09	0,15	0,04	0,05	9,61	98,43
V-12-136	0,55	0,11	-0,01	0,05	0,05	7,25	100,31
V-12-137						7,88	
V-12-139	0,84	0,15	0,04	0,05	0,02	7,39	99,7
V-12-162	0,86	0,25	0,03	0,05	0,01	16,3	101,7
V-12-168	0,43	0,08	-0,01	0,04	0,02	6,88	100,78

ANNEXE C - Échantillons LA-ICP-MS

ID LA-ICP-MS	Échantillon	Cristallinité	Granulométrie	Proportion de porosité
Py-1-1	V-12-110	Idiomorphe à hypidiomorphe	Grossière (1 mm)	Forte
Py-1-2	V-12-110	Hypidiomorphe	Grossière (>1 mm)	Faible
Py-2-1	V-11-08	Hypidiomorphe à idiomorphe	Grossière (0,75 mm)	Forte
Py-2-2	V-11-08	Cubique, idiomorphe	Moyenne (0,65 mm)	Moyenne
Py-3-1	V-11-07	Hypidiomorphe à idiomorphe	Moyenne (0,65 mm)	Moyenne
Py-3-2	V-11-07	Xénomorphe à hypidiomorphe	Moyenne (0,50 mm)	Forte
Py-3-3	V-11-07	Xénomorphe	Moyen à fine (0,2 X 0,65 mm)	Forte
Py-4-1	V-12-40	Pyritohédral à idiomorphe	Fine (0,2 mm)	Moyenne
Py-4-2	V-12-40	Xénomorphe	Moyenne (0,45 mm)	Forte
Py-4-3	V-12-40	Hypidiomorphe	Moyenne à fine (0,2 x 0,45 mm)	Moyenne
Py-5-1	V-12-20	Cubique à hypidiomorphe	Moyenne (0,2 x 1,2 mm)	Forte
Py-5-2	V-12-20	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,1 x 0,3 mm)	Moyenne
Py-5-3	V-12-20	Allongé, xénomorphe	Fine (<0,1 mm x 0,4 mm)	Faible
Py-5-4	V-12-20	Framboïdale, hypidiomorphe	Grossière (>1,5 mm)	Forte
Py-6-1	V-12-56	Allongée, xénomorphe	Grossière (2,5 x 0,4 mm)	Faible
Py-6-2	V-12-56	Allongée, xénomorphe	Grossière (2,5 x 0,4 mm)	Faible
Py-6-3	V-12-56	Hypidiomorphe à xénomorphe	Grossière (0,5 x 1,0 mm)	Forte
Py-6-4	V-12-56	Hypidiomorphe à xénomorphe	Grossière (0,5 x 1,0 mm)	Forte
Py-7-1	V-12-22	Hypidiomorphe à xénomorphe	Moyenne (0,4 x 0,7 mm)	Forte
Py-7-2	V-12-22	Xénomorphe	Moyenne à fine (0,2 x 0,4 mm)	Faible
Py-7-3	V-12-22	Xénomorphe	Moyenne à fine (0,25 x 0,5 mm)	Forte
Py-7-4	V-12-22	Hypidiomorphe	Grossière (0,65 x 1,25 mm)	Faible
Py-7-5	V-12-22	Hypidiomorphe à xénomorphe	Grossière (0,65 x 1,25 mm)	Faible
Py-7-6	V-12-22	Xénomorphe	Fine (0,1 x 0,2 mm)	Moyenne
Py-8-1	V-12-57	hypidiomorphe	Grossière (3 x 2,5 mm)	Faible
Py-8-2	V-12-57	hypidiomorphe	Grossière (3 x 2,5 mm)	Faible
Py-8-3	V-12-57	Xénomorphe	Grossière (1 x 3 mm)	Forte
Py-8-4	V-12-57	Xénomorphe	Grossière (1 x 3mm)	Moyenne

ID LA-ICP-MS	Échantillon	Cristalinité	Granulométrie	Proportion de porosité
Py-9-1	V-12-162	Cubique à hypidiomorphe	Moyenne (0,5 x 0,35 mm)	Faible
Py-9-2	V-12-162	Xénomorphe framboïdale	Fine à moyenne	Moyenne
Py-9-3	V-12-162	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine à moyenne	Moyenne
Py-9-4	V-12-162	hypidiomorphe	Moyenne (0,2 x 0,6 mm)	Faible
Py-9-5	V-12-162	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,2 x 0,15 mm)	Faible
Py-11-1	V-12-168	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,2 x 0,15 mm)	Moyenne
Py-11-2	V-12-168	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,2 x 0,15 mm)	Moyenne
Py-11-3	V-12-168	Cubique à semi-cubique	Moyenne (0,5 x 0,25 mm)	Faible
Py-11-4	V-12-168	Cubique à semi-cubique	Moyenne (0,5 x 0,25 mm)	Faible
Py-11-5	V-12-168	Idiomorphe et pyritoédrique	Fine (0,2 x 0,25 mm)	Faible
Py-12-1	V-12-106	Hypidiomorphe	Moyenne (0,4 x 0,75 mm)	Faible
Py-12-3	V-12-106	Hypidiomorphe	Moyenne (0,6 x 0,25 mm)	Forte
Py-12-4	V-12-106	Xénomorphe	Moyenne (0,7 x 0,2 mm)	Forte
Py-13-1	V-12-137	Cubique , idiomorphe	Moyenne (0,5 x 0,6 mm)	Faible
Py-13-2	V-12-137	Cubique , idiomorphe	Fine (0,15 x 0,2 mm)	Moyenne
Py-13-3	V-12-137	Xénomorphe, framboïdale	Grossière (0,75 x 0,5 mm)	Moyenne
Py-13-4	V-12-137	Xénomorphe, framboïdale	Grossière (0,75 x 0,5 mm)	Moyenne
Py-13-5	V-12-137	Hypidiomorphe, semi-cubique	Moyenne (0,25 x 0,25 mm)	Faible
Py-13-6	V-12-137	Xénomorphe	Fine (0,1 x 0,2 mm)	Forte
Py-13-7	V-12-137	Hypidiomorphe, semi-cubique	Fine (0,1 x 0,15 mm)	Faible
Py-14-1	V-12-139	Hypidiomorphe, semi-cubique	Moyenne (0,4 x 0,3 mm)	Faible
Py-14-2	V-12-139	Xénomorphe	Moyenne à fine (0,3 x 0,25 mm)	Moyenne
Py-14-3	V-12-139	Xénomorphe, framboïdale	Grossière	Forte
Py-14-4	V-12-139	Xénomorphe, framboïdale	Grossière	Forte
Py-15-1	V-12-39	Hypidiomorphe à idiomorphe	Moyenne à fine (0,25 x 0,2 mm)	Moyenne
Py-15-2	V-12-39	Cubique à faiblement hypidiomorphe	Fine (0,1 x 0,2mm)	Moyenne
Py-15-3	V-12-39	Pyritoédrique	Fine (<0,1 mm)	Faible
Py-15-4	V-12-39	lucique , idiomorphe	Fine (<0,1mm)	Faible

ID LA-ICP-MS	Échantillon	Cristalinité	Granulométrie	Proportion de porosité
Py-15-5	V-12-39	Semi-cubique	Moyenne (0,35 x 0,4 mm)	Faible
Py-15-6	V-12-39	Hypidiomorphe	Fine (0,2 x 0,25 mm)	Faible
Py-15-7	V-12-39	Cubique, idiomorphe	Fine (0,15 x 0,2 mm)	Faible
Py-16-1	V-12-08	Idiomorphe à hypidiomorphe	Moyenne à fine (0,20 x 0,35 mm)	Faible
Py-16-2	V-12-08	Xénomorphe	Fine (<0,1 mm)	Moyenne
Py-16-3	V-12-08	Semi-cubique	Moyenne (0,25 x 0,35 mm)	Moyenne
Py-16-4	V-12-08	Xénomorphe à hypidiomorphe	Moyenne à fine (0,15 x 0,2 mm)	Moyenne
Py-16-5	V-12-08	Idiomorphe à hypidiomorphe	Fine (<0,1 mm)	Faible
Py-17-1	V-12-53	Hypidiomorphe	Moyenne à fine (0,2 x 0,3 mm)	Faible
Py-17-2	V-12-53	Hypidiomorphe	Fine (<0,1 mm)	Faible
Py-17-3	V-12-53	Hypidiomorphe à xénomorphe	Fine (0,15 x 0,2 mm)	Faible
Py-17-4	V-12-53	Xénomorphe	Fine à moyenne (0,2 à 0,25 mm)	Forte
Py-18-1	V-12-136	Xénomorphe	Moyenne (0,25 x 0,5 mm)	Forte
Py-18-2	V-12-136	Hypidiomorphe	Fine (<0,1 mm)	Faible
Py-18-3	V-12-136	Idiomorphe et pyritoédrique	Moyenne (0,3 x 0,3 mm)	Faible
Py-19-1	V-12-31	Cubique à faiblement hypidiomorphe	Moyenne à fine (0,2 x 0,25 mm)	Moyenne
Py-19-2	V-12-31	Cubique à faiblement hypidiomorphe	Moyenne (0,3 x 0,25 mm)	Moyenne
Py-19-3	V-12-31	Hypidiomorphe	Moyenne à grosse (0,5 x 0,65 mm)	Moyenne
Py-19-4	V-12-31	Hypidiomorphe à xénomorphe	Moyenne à fine (0,15 x 0,45 mm)	Moyenne
Py-19-5	V-12-31	Xénomorphe	Fine (0,15 x 0,2 mm)	Faible
Py-19-6	V-12-31	Cubique et xénomorphe	Moyenne à grosse (0,45 x 0,5 mm)	Forte
Py-19-7	V-12-31	Cubique	Fine (0,1 x 0,15 mm)	Faible
Py-19-8	V-12-31	Cubique faiblement hypidiomorphe	Moyenne (0,2 x 0,35 mm)	Faible
Py-19-9	V-12-31	Xénomorphe	Fine (0,15 x 0,15 mm)	Faible
Py-19-10	V-12-31	Hypidiomorphe	Fine (0,1 x 0,2 mm)	Faible
Py-19-11	V-12-31	Idiomorphe à hypidiomorphe	Fine (<0,1 mm)	Faible
Py-20-1	V-11-13	Xénomorphe	Fine à moyenne (0,2 x 0,15 mm)	Faible
Py-20-2	V-11-13	Hypidiomorphe, allongée	Fine (<0,1mm)	Faible

ID LA-ICP-MS	Échantillon	Cristalinité	Granulométrie	Proportion de porosité
Py-20-3	V-11-13	Nodulaire et zonée	Grosse (1,3 x 1 cm)	Forte
Py-21-1	V-11-12	Hypidiomorphe à faiblement cubique	Moyenne (0,25 X 0,45 mm)	Moyenne
Py-21-2	V-11-12	Poreuse, xénomorphe	Grosse, remplacement Mt	Forte
Py-21-3	V-11-12	Poreuse, xénomorphe	Grosse, remplacement Mt	Forte
Py-22-1	V-11-06	Allongée et xénomorphe	Moyenne à grosse (0,25 x 2 mm)	Forte
Py-22-2	V-11-06	Allongée et xénomorphe	Moyenne (0,15 x 1,2 mm)	Forte
Py-22-3	V-11-06	Hypidiomorphe	Fine (0,1 x 0,15 mm)	Faible
Po-1-1	V-12-110	Xénomorphe	Grossière (1 mm)	Forte
Po-1-2	V-12-110	Xénomorphe	Moyenne (0,5 mm)	Forte
Po-9-1	V-12-162	Xénomorphe	Moyenne (0,3 x 0,6 mm)	Forte
Po-9-2	V-12-162	Xénomorphe	Moyenne (0,3 x 0,6 mm)	Forte
Po-9-3	V-12-162	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,25 x 0,15 mm)	Faible
Po-10-1	V-11-02	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,1 x 0,3 mm)	Faible
Po-10-2	V-11-02	Xénomorphe	Fine (0,05 x 0,25 mm)	Moyenne
Po-11-1	V-12-168	Xénomorphe à hypidiomorphe	Moyenne à grossière	Forte
Po-11-2	V-12-168	Xénomorphe à hypidiomorphe	Moyenne à grossière	Forte
Po-16-1	V-12-08	Xénomorphe	Fine (0,15 x 0,3 mm)	Moyenne
Po-16-2	V-12-08	Hypidiomorphe à idiomorphe	Moyenne à grosse (0,5 x 0,7 mm)	Forte
Po-16-3	V-12-08	Hypidiomorphe à idiomorphe	Moyenne à grosse (0,5 x 0,7 mm)	Forte
Po-19-1	V-12-31	Idiomorphe à hypidiomorphe	Moyenne (0,15 x 0,45 mm))	Moyenne
Po-19-2	V-12-31	Idiomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,1x 0,15 mm)	Moyenne
Po-19-3	V-12-31	Idiomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,1x 0,15 mm)	Faible
Mt-21-1	V-11-12	Hypidiomorphe a xénomorphe	Fine à moyenne (0,2 x 0,25 mm)	Faible
Mt-21-2	V-11-12	Hypidiomorphe	Moyenne à fine (0,25 x 0,25 mm)	Faible
Mt-21-3	V-11-12	Hypidiomorphe	Moyenne (0,3 x 0,35 mm)	Faible
Mt-21-4	V-11-12	Hypidiomorphe	Moyenne (0,3 x 0,35 mm)	Faible
Mt-21-5	V-11-12	Xénomorphe	Moyenne (0,3 x 0,6 mm)	Moyenne
Mt-21-6	V-11-12	Xénomorphe	Fine (0,15 x 0,2mm)	Faible

ID LA-ICP-MS	Échantillon	Cristalinité	Granulométrie	Proportion de porosité
Hm-21-1	V-11-12	Xénomorphe	Fine	Forte
Hm-21-2	V-11-12	Xénomorphe	Fine	Forte
Asp-1-1	V-12-110	Idiomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,1 x 0,2 mm)	Forte
Asp-3-1	V-11-07	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,15 x 0,15 mm)	Faible
Asp-3-2	V-11-07	Hypidiomorphe à xénomorphe	Moyenne (0,4 x 0,3 mm)	Moyenne
Asp-4-1	V-12-40	Idiomorphe	Fine (0,1 x 0,3 mm)	Moyenne
Asp-5-1	V-12-20	Xénomorphe	Fine (0,2 x 0,15 mm)	Faible
Asp-5-2	V-12-20	Idiomorphe	Très fine (0,05 x 0,1 mm)	Moyenne
Asp-5-3	V-12-20	Xénomorphe à hypidiomorphe	Fine (0,1 x 0,2 mm)	Faible
Asp-6-2	V-12-56	Xénomorphe à hypidiomorphe	Grossière (2,5 x 0,4 mm)	Faible
Asp-7-1	V-12-22	Hypidiomorphe à idiomorphe	Fine (0,05 x 0,15 mm)	Moyenne
Asp-7-2	V-12-22	Idiomorphe	Fine (0,15 x 0,35 mm)	Faible
Asp-8-1	V-12-57	Idiomorphe	Moyenne (0,3 x 0,25 mm)	Faible
Asp-9-1	V-12-162	Xénomorphe à hypidiomorphe	Moyenne (0,75 x 0,15 mm)	Faible
Asp-9-2	V-12-162	Xénomorphe	Fine (0,25 x 0,1 mm)	Faible

ANNEXE D - Analyses LA-ICP-MS

Pyrites	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	As_ppm_m75	Se_ppm_m82	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	Te_ppm_m125
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1
PY1-1	925,75	21,38	-	482,65	11,49	2,30	0,07	3,90	6,79	2,73
PY1-2	1154,52	5,88	-	106,37	16,94	0,24	0,12	2,57	3,21	3,15
PY2-1	64,14	11,49	-	1795,92	9,51	1,02	0,33	0,40	3,24	-0,52
PY2-2	534,50	72,16	-	406,22	40,52	1,66	0,61	0,15	17,00	-0,55
PY3	56,66	11,71	-	161,95	60,83	0,64	0,04	0,08	35,54	-0,34
PY3-2	555,88	13,36	-	1154,52	74,08	0,09	0,21	0,09	3,15	4,28
PY3-3	32,07	8,07	-	359,18	61,68	0,06	0,06	0,06	0,91	1,25
PY4-1	962,10	4,49	-	363,46	18,12	0,14	0,12	0,07	5,93	0,49
PY4-2	311,61	9,73	-	197,77	24,59	0,16	0,09	0,24	10,42	2,78
PY4-3	652,09	7,64	-	502,43	13,84	0,10	0,14	0,30	3,58	0,14
PY5-1	187,08	14,32	-	1175,90	24,96	3,74	0,13	0,79	32,44	7,64
PY5-2	6713,32	2202,14	-	19,40	39,66	65,96	17,69	2,67	101,18	-0,33
PY5-3	6536,94	2378,53	-	20,69	35,38	70,87	18,07	2,03	99,95	0,29
PY5-4	47,04	6,73	-	155,01	21,70	0,20	0,20	12,29	7,48	0,33
PY6-1	1389,70	14,43	-	2,19	21,81	0,61	0,07	17,10	12,08	0,18
PY6-2	6483,49	72,75	-	0,42	36,35	8,33	0,80	1,33	11,97	2,62
PY6-3	59,86	20,31	-	267,25	11,76	0,20	0,06	1,44	7,48	0,22
PY6-4	245,87	13,36	-	154,47	8,77	0,49	0,08	0,65	24,43	0,29
PY7-1	427,60	11,28	-	33,14	5,24	0,38	0,18	0,29	4,81	0,13
PY7-2	9727,90	16,04	-	3,74	32,55	2,73	0,25	0,11	0,71	0,05
PY7-3	700,20	10,69	-	1180,18	23,68	8,23	0,11	7,38	33,62	7,06
PY7-4	16,57	6,73	-	144,90	24,11	0,15	0,12	0,91	8,61	0,37
PY7-5	53,45	14,81	-	138,97	19,35	0,75	0,00	3,15	45,38	0,13
PY7-6	146,45	8,34	-	277,94	16,20	0,21	0,00	6,52	2,74	0,01
PY8-1	2458,70	40,41	-	0,58	2,08	0,41	1,65	1,17	2,62	-0,23
PY8-2	4783,78	67,35	-	0,24	47,57	4,63	2,21	0,28	17,64	0,25
PY8-3	272,60	9,46	-	221,82	12,29	0,33	0,13	0,55	19,72	2,27
PY8-4	181,73	6,04	-	234,11	9,78	0,26	0,12	0,20	10,53	3,51
PY9-1	1122,45	9,09	-	27259,50	31,54	3,42	0,03	0,32	40,09	9,62
PY9-2	27,21	6,63	-	156,61	99,58	0,46	0,43	12,93	4,81	17,00
PY9-3	182,80	12,03	-	284,35	50,40	17,10	0,07	17,64	13,26	9,03

Pyrites	Au_ppm_m197	Hg_ppm_m20 2	Pb_ppm_m20 8	Bi_ppm_m209	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Zn_ppm_m66	Ga_ppm_m71
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE
PY1-1	0,04	0,81	11,44	6,79	1,39	7,35	14,15	1289,44	6,89	0,33
PY1-2	0,01	0,27	5,61	3,52	0,67	1,45	8,19	944,97	139,65	0,18
PY2-1	1,25	0,89	15,71	0,13	4,70	8,38	32,59	16,29	3,21	0,51
PY2-2	12,29	0,74	23,73	-0,61	11,17	6,05	3,96	3,54	125,69	0,29
PY3	0,14	0,27	211,66	-1,47	0,48	-0,20	2,86	1,07	1,63	0,13
PY3-2	0,08	0,33	14,27	-1,29	0,93	1,66	3,49	23,28	22,81	0,20
PY3-3	0,01	0,25	4,33	-1,41	1,20	7,91	3,00	1,16	1,58	0,26
PY4-1	0,03	0,20	5,72	-0,68	1,82	744,80	12,10	231,35	2,33	0,15
PY4-2	0,04	0,18	22,24	-0,54	5,54	1,10	5,45	276,51	5,82	0,57
PY4-3	0,01	0,15	8,50	-1,69	4,89	0,94	11,92	46,64	8,84	0,47
PY5-1	0,57	0,20	70,55	4,59	68,43	64,24	172,24	274,65	6,56	3,58
PY5-2	0,01	0,44	457,00	-1,19	49,34	83,32	12,48	195,88	26,53	1,48
PY5-3	0,02	0,37	432,41	-0,74	4,75	4,00	10,61	244,85	3,93	0,27
PY5-4	0,06	0,27	17,53	-0,80	3,21	9,31	26,07	2,98	22,34	0,25
PY6-1	0,01	0,15	98,88	-0,35	0,88	1,77	13,03	220,18	2,51	0,12
PY6-2	0,04	0,16	922,01	-0,52	1,42	4,19	2,71	864,90	0,72	0,17
PY6-3	0,02	0,20	16,09	-0,87	20,48	44,22	53,53	123,82	8,84	0,98
PY6-4	0,05	0,11	42,23	-1,37	23,23	49,34	4,79	71,69	8,29	0,43
PY7-1	0,04	1,59	84,45	-1,86	13,36	11,96	442,23	52,14	31,19	0,80
PY7-2	0,01	0,66	19,19	-1,23	0,47	-0,41	90,31	116,38	0,61	0,13
PY7-3	0,31	0,67	37,74	2,48	4,70	6,24	75,88	2509,05	8,89	0,32
PY7-4	0,03	2,00	38,48	-0,21	5,54	4,14	16,29	4,93	1,20	0,52
PY7-5	0,41	1,05	163,02	0,20	10,38	13,03	21,41	6,98	2,94	0,41
PY7-6	0,01	0,51	11,44	1,10	10,33	9,36	30,26	62,84	3,17	0,94
PY8-1	0,01	0,32	21,22	-0,44	0,98	0,79	2,70	269,99	2,09	0,15
PY8-2	0,01	0,26	155,01	-0,53	0,67	1,55	3,38	623,30	1,18	0,10
PY8-3	0,04	0,23	58,80	1,00	73,55	24,67	14,43	16,62	8,89	2,05
PY8-4	0,07	0,14	26,24	0,05	35,84	6,05	22,34	4,70	7,68	0,83
PY9-1	0,35	0,18	92,47	1,34	55,39	8,01	13,64	1298,75	4,52	1,61
PY9-2	0,08	0,20	14,59	1,69	8,66	6,89	33,98	196,91	9,31	0,57
PY9-3	1,60	0,29	122,94	4,15	20,02	8,52	38,64	251,37	5,96	0,79

Pyrites	Ge_ppm_m72	Mo_ppm_m95	In_ppm_m115	W_ppm_m182
STD_utilisé	GSE	GSE	GSE	GSE
PY1-1	27,46	0,01	0,04	1,44
PY1-2	28,07	0,08	0,11	0,04
PY2-1	27,74	6,89	0,10	0,30
PY2-2	27,60	0,24	0,12	0,32
PY3	27,84	0,11	0,01	0,20
PY3-2	28,35	0,07	0,01	6,94
PY3-3	29,05	0,08	0,00	1,12
PY4-1	27,84	0,13	0,05	1,12
PY4-2	27,19	0,07	0,01	1,02
PY4-3	27,65	0,10	0,09	1,21
PY5-1	26,81	25,60	0,05	12,75
PY5-2	27,14	1,01	0,05	26,07
PY5-3	27,32	1,86	0,06	0,67
PY5-4	26,91	0,88	0,03	0,38
PY6-1	28,16	0,03	0,07	0,15
PY6-2	26,44	0,21	0,17	0,26
PY6-3	27,42	0,24	0,01	0,06
PY6-4	25,74	0,30	0,01	1,54
PY7-1	26,95	0,31	0,01	7,45
PY7-2	26,35	0,01	0,01	0,11
PY7-3	26,86	2,33	0,05	3,21
PY7-4	26,58	0,12	0,02	0,10
PY7-5	27,23	0,08	0,02	0,21
PY7-6	26,39	0,17	0,03	0,24
PY8-1	27,51	0,11	0,11	0,21
PY8-2	26,76	0,01	0,15	0,15
PY8-3	26,86	0,06	0,02	2,19
PY8-4	26,53	0,05	0,00	2,09
PY9-1	26,67	0,15	0,09	2,89
PY9-2	28,12	0,18	0,12	0,47
PY9-3	27,74	0,13	0,11	4,10

Pyrites	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	As_ppm_m75	Se_ppm_m82	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	Te_ppm_m125
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1
PY9-4	389,12	83,38	-	356511,50	151,26	45,43	0,23	1,00	614,68	705,54
PY9-5	807,10	33,14	-	329252,00	168,37	103,69	0,43	2,24	686,83	363,46
PY5-5	5,08	1,25	-	92,47	49,71	0,12	0,04	10,69	4,70	1,43
PY11-1	534,50	5,45	1,60	119,19	30,57	0,14	0,03	0,12	9,19	2,20
PY11-2	865,89	10,96	4,06	13576,30	37,42	1,65	0,04	1,39	30,52	43,29
PY-11-3	315,36	10,37	35,28	3794,95	13,04	18,17	0,19	65,74	5,93	25,12
PY-11-4	641,40	49,17	69,49	2351,80	15,39	1,49	0,21	107,97	5,08	5,02
PY-11-5	302,53	203,11	80,18	5184,65	11,22	4,49	0,19	80,18	9,35	2,77
PY-12-1	194,56	10,26	1,20	8070,95	12,35	0,35	0,07	4,81	2,41	0,64
PY-12-3	86,05	12,93	4,97	229,84	37,47	0,88	0,16	0,29	54,52	2,10
PY-12-4	142,18	17,64	9,03	274,73	52,27	0,88	0,22	0,60	78,68	4,15
PY-13-1	395,53	133,63	4,17	5756,57	32,93	18,17	0,09	0,22	78,04	8,93
PY-13-2	430,27	107,97	2,67	1501,95	42,39	14,97	0,04	0,18	106,90	14,06
PY-13-3	1272,11	416,91	261,91	7162,30	12,08	80,18	0,61	0,23	72,69	19,51
PY-13-4	577,26	39,55	64,14	5259,48	66,28	17,05	0,22	0,19	199,74	137,05
PY-13-5	229,84	251,22	112,25	6788,15	14,81	7,11	0,27	0,22	44,90	13,04
PY-13-6	1389,70	422,26	304,67	9353,75	21,97	41,16	0,67	0,39	125,61	27,53
PY-13-7	475,71	288,63	17,64	16248,80	12,99	25,66	0,14	0,17	75,36	17,21
PY-14-1	350,63	108,50	19,78	2993,20	12,45	4,92	0,14	0,27	121,33	12,35
PY-14-2	1443,15	43,83	36,88	8872,70	10,90	2,97	0,12	0,75	76,97	10,58
PY-14-3	908,65	22,77	10,16	2581,64	9,73	2,78	0,14	0,50	100,59	11,17
PY-14-4	903,31	45,43	45,43	2880,96	14,43	4,19	0,19	3,26	139,50	16,04
PY-15-1	643,00	77,50	11,60	1726,44	45,27	2,23	0,12	0,28	31,80	20,52
PY-15-2	1277,46	15,18	34,26	1956,27	19,88	1,29	0,03	1,51	31,21	5,45
PY-15-3	372,01	46,50	2,67	1389,70	30,04	0,86	0,03	1,87	5,02	3,63
PY-15-4	748,30	459,67	34,21	1950,93	56,87	1,87	0,10	0,73	25,12	20,31
PY-15-5	127,21	34,21	742,96	555,88	31,32	3,05	2,34	3,63	5,35	8,77
PY-15-6	129,88	871,24	7,38	5516,04	12,88	4,97	0,08	0,18	12,29	2,13
PY-15-7	130,95	38,48	406,22	801,75	40,73	1,37	1,09	0,36	4,65	2,97
PY16-1	2159,38	9,35	13,36	65,74	20,79	0,79	-0,10	126,68	1,72	0,25
PY16-2	1320,22	272,60	2939,75	3549,08	19,46	52,38	6,90	59,86	165,16	11,76

Pyrites	Au_ppm_m19 7	Hg_ppm_m20 2	Pb_ppm_m20 8	Bi_ppm_m209	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Zn_ppm_m66	Ga_ppm_m71
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE
PY9-4	11,97	1,10	1608,85	17,75	21,41	12,66	30,72	312,82	1,29	0,68
PY9-5	14,27	1,26	4008,75	27,26	29,33	7,91	16,29	530,67	1,21	0,93
PY5-5	0,03	0,35	13,10	0,42	25,60	52,14	4,66	9,31	3,91	0,57
PY11-1	0,04	-0,01	34,05	0,28	2,00	1,49	232,75	263,94	1,52	0,40
PY11-2	17,64	0,20	101,02	5,13	2,93	4,19	4,84	258,82	3,86	0,54
PY-11-3	4,44	0,16	16,25	1,37	2,28	3,03	4,70	363,09	36,77	0,25
PY-11-4	0,40	0,13	13,36	0,94	3,49	558,60	3,65	228,10	88,45	0,20
PY-11-5	4,12	0,18	38,48	0,40	10,89	279,30	4,19	297,92	88,45	0,32
PY-12-1	5,45	0,14	8,39	-0,10	1,04	1,33	3,24	73,08	1,20	0,21
PY-12-3	0,47	0,26	105,83	1,25	26,77	47,02	109,86	50,74	4,89	2,56
PY-12-4	0,27	0,23	164,63	3,55	63,31	107,53	296,99	128,48	9,03	5,40
PY-13-1	21,91	0,38	176,39	0,10	7,08	9,08	33,52	100,55	3,82	0,39
PY-13-2	48,11	0,40	200,97	0,54	15,13	13,59	15,55	126,62	2,51	0,38
PY-13-3	171,04	0,34	438,29	1,62	3,17	4,79	9,26	157,34	246,72	0,29
PY-13-4	10,71	0,73	3778,92	17,94	1,36	2,33	8,47	137,32	60,52	0,18
PY-13-5	7,43	0,38	129,88	0,73	2,14	4,38	13,97	97,76	121,03	0,34
PY-13-6	155,01	0,85	200,44	2,00	7,45	14,90	3,30	159,20	293,27	0,80
PY-13-7	117,59	0,67	80,18	0,50	1,59	1,56	5,35	87,98	17,69	0,17
PY-14-1	12,29	0,68	211,66	1,11	2,46	5,31	5,96	17,41	20,48	0,25
PY-14-2	28,86	0,57	207,39	0,63	8,29	9,22	3,82	308,63	37,71	0,77
PY-14-3	3,63	0,43	165,16	0,95	27,56	79,14	3,07	58,70	9,31	2,13
PY-14-4	5,29	0,41	265,65	1,79	47,02	73,08	4,28	39,75	45,62	3,29
PY-15-1	1,48	0,47	64,67	0,34	21,51	11,17	20,48	263,94	11,96	0,93
PY-15-2	0,96	0,79	81,51	-0,25	1680,46	445,02	32,59	519,50	35,52	49,76
PY-15-3	0,22	0,43	27,90	-0,21	13,78	12,06	30,72	218,79	3,03	0,69
PY-15-4	2,57	0,44	32,50	-0,07	121,03	56,33	3,86	200,17	34,45	2,19
PY-15-5	0,48	0,53	38,75	-0,12	16,29	7,45	52,14	25,14	754,11	0,31
PY-15-6	3,47	0,50	39,02	-0,10	16,76	37,24	4,70	39,10	7,08	0,24
PY-15-7	0,26	0,35	20,79	-0,22	7,31	2,93	2,56	49,34	428,26	0,39
PY16-1	0,01	2,08	12,93	0,28	4,05	13,50	42,36	120,56	8,98	1,86
PY16-2	1,14	0,58	358,12	7,80	11,17	7,91	16,76	363,09	3305,05	1,40

Pyrïtes	Ge_ppm_m72	Mo_ppm_m95	ln_ppm_m115	W_ppm_m182
STD_utilis�	GSE	GSE	GSE	GSE
PY9-4	26,72	2,17	0,71	19,55
PY9-5	26,95	2,08	0,65	0,05
PY5-5	28,77	0,00	0,01	0,02
PY11-1	27,46	0,48	0,07	0,21
PY11-2	26,49	0,20	0,02	0,61
PY-11-3	25,88	0,40	0,27	0,88
PY-11-4	26,91	0,11	0,48	1,12
PY-11-5	26,35	20,48	0,30	15,36
PY-12-1	26,16	0,22	0,01	0,42
PY-12-3	26,86	0,39	0,00	1,30
PY-12-4	25,93	0,18	0,03	0,25
PY-13-1	25,97	0,17	0,02	2,75
PY-13-2	25,93	0,06	0,01	13,97
PY-13-3	25,74	0,15	0,06	0,20
PY-13-4	25,79	0,29	0,02	0,51
PY-13-5	26,81	0,53	0,03	0,21
PY-13-6	26,95	4,61	0,06	16,29
PY-13-7	27,19	0,65	0,02	2,33
PY-14-1	26,39	1,35	0,02	0,56
PY-14-2	26,81	6,33	0,02	3,58
PY-14-3	25,84	4,61	0,02	3,35
PY-14-4	26,67	4,52	0,03	6,38
PY-15-1	27,23	8,15	0,01	4,75
PY-15-2	28,54	44,69	0,09	18,15
PY-15-3	27,56	139,65	0,03	9,78
PY-15-4	26,81	15,87	0,11	13,97
PY-15-5	26,91	2,14	2,32	8,89
PY-15-6	26,49	4,00	0,17	10,10
PY-15-7	27,09	0,89	0,71	2,09
PY16-1	27,32	0,52	0,28	0,13
PY16-2	27,42	0,10	0,41	1,30

Pyrites	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	As_ppm_m75	Se_ppm_m82	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	Te_ppm_m125
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1
PY16-3	10,64	6,95	2,51	504,57	12,29	0,09	0,04	406,22	1,25	0,22
PY16-4	798,54	50,19	5,29	1201,02	4,97	72,10	0,02	513,12	617,35	65,32
PY16-5	593,30	256,56	117,59	9353,75	24,37	38,48	0,39	192,95	195,63	16,57
PY17-1	956,76	523,81	83,38	9460,65	29,83	13,90	0,17	1,28	34,21	3,69
PY17-2	551,07	459,67	32,07	10208,95	37,52	9,78	0,11	18,17	62,00	9,73
PY17-3	259,77	481,05	37,42	8070,95	26,40	3,79	0,13	6,73	16,04	2,57
PY17-4	561,23	160,35	26,73	4596,70	18,12	7,80	0,05	0,18	40,09	2,99
PY18-1	249,08	10476,20	31,00	29,93	57,57	4,77	0,28	1,23	163,02	0,50
PY18-2	448,98	57,73	19,24	8391,65	120,26	3,53	0,14	0,32	87,66	17,16
PY18-3	3773,57	138,97	652,09	932702,50	123,52	678,82	1,50	0,66	2351,80	277,41
PY19-1	75,36	181,73	4,70	1443,15	21,65	2,03	0,15	27,26	8,34	0,92
PY19-2	45,43	43,29	7,91	2522,84	18,23	1,35	0,09	39,02	8,02	0,46
PY19-3	235,18	26,19	2,57	6467,45	28,11	1,08	0,05	80,18	8,82	0,59
PY19-4	251,22	121,33	10,96	5024,30	31,59	2,07	0,18	24,59	13,10	0,61
PY19-5	227,70	63,07	2,39	5029,65	28,17	2,31	0,07	88,19	21,97	1,37
PY19-6	53,45	219,15	2,82	3581,15	20,63	4,20	0,10	0,11	27,21	0,48
PY19-7	82,31	28,86	1,35	1314,87	21,70	3,14	-0,05	0,06	11,17	0,36
PY19-8	30,20	13,36	17,10	3084,07	22,77	1,24	0,09	0,03	9,25	0,57
PY19-9	748,30	45,43	1,64	684,16	21,81	2,36	0,08	3,10	24,64	0,71
PY19-10	128,28	74,83	2,30	1288,15	22,02	3,79	0,19	0,19	39,18	1,82
PY19-11	36,35	9,78	21,38	27,26	14,75	0,45	0,16	267,25	6,57	0,42
PY20-1	57,19	7,86	0,96	62,00	10,69	0,08	0,01	0,08	3,69	0,28
PY20-2	320,70	17,10	2,41	7,06	7,91	0,21	0,11	0,09	4,10	0,86
PY20-3	217,33	338,34	176,92	506,12	6,55	3,74	0,75	0,68	277,73	2,43
PY21-1	4,33	6,36	16,57	23,52	2,86	0,12	0,22	0,37	0,27	0,35
PY21-2	20,85	8,02	3,96	176,39	2,93	0,14	0,10	0,12	0,53	0,46
PY21-3	320,70	4,44	2,57	235,18	3,38	0,22	0,18	0,51	1,01	0,34
PY22-1	272,60	9,83	2,03	219,15	6,09	0,30	0,03	0,09	15,98	2,99
PY22-2	219,68	10,53	11,44	328,18	14,48	0,33	-0,01	0,16	15,66	1,27
PY22-3	59,33	9,41	0,93	0,42	142,71	8,98	1,98	0,13	0,11	0,04

Pyrites	Au_ppm_m197	Hg_ppm_m202	Pb_ppm_m208	Bi_ppm_m209	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Zn_ppm_m66	Ga_ppm_m71
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE
PY16-3	0,00	0,71	3,74	0,08	1,04	5,30	4,99	1,16	3,17	0,17
PY16-4	1,47	0,95	618,42	32,55	12,06	11,59	7,31	347,73	5,82	1,18
PY16-5	9,46	0,36	721,58	8,28	10,57	7,49	7,31	251,37	135,00	1,26
PY17-1	25,66	0,12	801,75	4,12	3,63	2,42	6,89	140,12	80,53	0,25
PY17-2	24,59	0,16	331,39	4,69	8,61	8,38	7,45	297,45	32,12	0,67
PY17-3	8,28	0,16	358,12	1,39	1,44	1,01	5,77	46,08	34,91	0,21
PY17-4	5,02	0,30	1036,93	2,62	3,96	2,28	17,22	196,44	27,00	0,43
PY18-1	0,36	1,26	936,44	-0,24	3,42	93,10	5,73	37,24	31,65	2,11
PY18-2	7,00	0,61	165,70	1,07	20,95	15,83	15,83	188,06	17,69	0,44
PY18-3	3848,40	6,95	2191,45	5,83	2,65	7,12	5,31	474,81	414,30	0,12
PY19-1	1,07	1,14	256,56	2,31	0,80	5,87	11,92	37,71	5,40	0,12
PY19-2	1,51	1,21	49,71	0,80	0,93	3,63	6,89	22,34	9,54	0,18
PY19-3	9,89	1,31	41,16	0,87	0,74	3,17	4,88	12,20	2,93	0,18
PY19-4	5,40	0,82	62,54	1,59	2,09	11,64	6,38	52,60	12,24	0,19
PY19-5	2,68	0,99	114,38	4,33	1,41	4,07	7,03	62,38	2,75	0,27
PY19-6	3,05	0,73	171,04	0,88	1,84	0,12	13,13	2,89	2,62	0,58
PY19-7	0,16	0,75	83,38	0,09	1,84	0,13	17,69	14,90	1,28	0,46
PY19-8	1,41	0,55	44,79	0,17	0,96	20,02	4,99	27,00	18,15	0,41
PY19-9	0,37	0,29	106,37	3,43	1,82	2,61	8,15	27,00	1,51	0,46
PY19-10	0,79	0,59	150,73	7,38	0,85	4,59	5,45	21,79	2,09	0,42
PY19-11	0,37	0,83	11,65	-0,14	1,91	2,98	3,26	18,15	20,95	0,28
PY20-1	0,10	7,55	6,41	-0,17	0,63	0,97	15,36	9,78	0,98	0,15
PY20-2	0,00	5,11	32,34	-0,45	0,45	-2,56	898,42	0,56	2,33	0,12
PY20-3	0,25	6,15	147,95	2,74	1,02	2,18	99,62	204,35	169,44	0,23
PY21-1	0,03	0,36	0,92	0,66	1,02	4,75	5,82	41,90	16,76	0,12
PY21-2	0,05	0,33	2,34	0,07	0,55	2,28	2,98	1,16	3,49	0,10
PY21-3	0,02	0,24	3,58	0,04	0,48	0,97	3,97	0,66	2,61	0,12
PY22-1	0,01	0,83	98,88	2,72	2,61	1,96	22,81	281,16	1,91	0,45
PY22-2	0,01	0,66	80,18	4,28	6,10	5,45	9,31	414,30	11,64	5,21
PY22-3	0,01	0,03	17,10	15,07	0,47	-3,35	3,86	15,59	0,83	0,08

Pyrïtes	Ge_ppm_m72	Mo_ppm_m95	ln_ppm_m115	W_ppm_m182
STD_utilisé	GSE	GSE	GSE	GSE
PY16-3	26,72	-0,04	1,70	0,21
PY16-4	25,97	3,96	1,70	1,44
PY16-5	26,44	0,67	0,73	0,45
PY17-1	26,63	0,22	0,04	0,35
PY17-2	26,07	1,07	0,07	0,12
PY17-3	26,53	0,03	0,04	0,37
PY17-4	26,35	0,03	0,04	0,06
PY18-1	27,09	0,51	0,29	0,68
PY18-2	24,90	3,12	0,02	8,70
PY18-3	26,67	0,64	0,73	0,14
PY19-1	27,28	0,05	0,12	0,43
PY19-2	26,91	0,22	0,16	3,17
PY19-3	26,81	0,39	0,27	1,49
PY19-4	27,09	0,15	0,08	5,91
PY19-5	26,72	0,02	0,27	4,35
PY19-6	26,63	0,34	0,07	3,54
PY19-7	27,19	0,17	0,00	5,03
PY19-8	26,53	0,11	0,01	3,17
PY19-9	26,53	1,02	0,02	1,86
PY19-10	26,49	15,36	0,00	0,24
PY19-11	26,44	-0,02	0,00	6,05
PY20-1	26,86	0,07	0,01	0,02
PY20-2	25,70	0,17	0,02	0,01
PY20-3	25,57	1,43	0,11	0,65
PY21-1	26,67	0,04	0,00	0,20
PY21-2	26,07	0,10	0,01	0,07
PY21-3	26,07	0,06	0,01	0,15
PY22-1	26,21	0,05	0,00	0,23
PY22-2	28,26	0,06	0,01	0,34
PY22-3	26,35	0,61	0,01	0,00

Pyrrhotites	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	As_ppm_m75	Se_ppm_m82	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	Te_ppm_m125
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1
PO1-1	268,59	7,35	-	64,79	9,64	0,21	0,23	16,95	0,79	0,53
PO1-2	290,81	1,70	-	0,51	11,90	0,27	0,26	1,02	0,47	-0,60
PO9-1	1303,38	17,33	-	5,20	48,22	0,79	0,14	59,90	2,47	0,00
PO9-2	1356,12	8,44	-	30,89	48,59	0,85	0,26	67,05	2,61	0,34
PO9-2	2448,55	1,85	-	16,95	49,20	0,82	0,03	0,44	0,24	0,49
PO9-2	1759,19	6,22	-	75,34	10,43	0,42	0,44	0,08	1,00	0,08
PO9-2	1536,94	9,38	-	116,02	6,89	0,13	0,64	0,11	0,29	-0,38
Pyrrhotites	Au_ppm_m197	Hg_ppm_m202	Pb_ppm_m208	Bi_ppm_m209	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Zn_ppm_m66	Ga_ppm_m71
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE
PO1-1	0,00	0,82	5,09	3,37	2,37	19,14	33,66	62,52	4,92	0,45
PO1-2	0,03	0,40	8,36	0,34	0,70	1,57	17,33	66,19	1,53	0,14
PO9-1	0,03	0,22	24,79	1,96	8,79	28,67	100,97	335,34	8,66	0,82
PO9-2	0,01	0,27	29,01	2,09	56,10	22,38	150,22	336,58	8,04	1,81
PO9-2	0,03	0,45	19,97	-0,29	3,24	1,43	4,61	293,57	1,62	0,19
PO9-2	0,00	0,94	8,10	2,49	1,26	2,74	4,57	602,73	1,85	0,41
PO9-2	-0,01	1,36	3,99	0,98	7,48	7,79	2,99	635,77	4,80	1,75
Pyrrhotites	Ge_ppm_m72	Mo_ppm_m95	In_ppm_m115	W_ppm_m182						
STD_utilisé	GSE	GSE	GSE	GSE						
PO1-1	39,89	1,06	0,02	0,12						
PO1-2	37,15	0,04	0,04	0,04						
PO9-1	36,84	1,51	0,26	0,54						
PO9-2	38,21	0,56	0,25	1,06						
PO9-2	37,90	0,09	0,03	-0,02						
PO9-2	35,90	0,33	-0,02	0,02						
PO9-2	37,52	0,19	0,06	0,09						

Oxydes	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	Ga_ppm_m71	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75
STD_utilisé	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE
MT21-1	61,09	20,87	89,34	0,50	4,58	9,16	7,56	0,95	43,01	0,90
MT21-2	4,53	24,28	28,51	0,25	0,38	-1,33	3,44	0,76	45,59	0,73
MT21-3	5,80	11,22	175,63	3,36	-0,69	0,00	45,82	1,30	42,69	-7,41
MT21-4	4,40	13,82	50,40	0,31	2,90	-1,14	2,67	0,76	43,75	-5,27
MT21-5	5,51	26,04	56,51	0,63	-0,99	3,59	2,73	0,90	43,83	9,62
MT21-6	3,79	20,39	25,50	94,69	5,42	3,67	16,80	0,74	44,29	16,88
MT21-6	4,99	63,38	42,84	4,33	-0,40	0,76	3,99	0,89	42,38	3,05
MT21-6	2,99	18,10	20,54	372,64	7,71	9,24	5,15	0,52	43,30	37,19
HM21-1	4,53	60,15	54,55	15,95	314,73	1,82	55,95	0,54	45,46	7,55
HM21-1	4,71	32,59	49,66	4,34	24,48	0,98	11,89	1,17	42,38	4,69
HM21-2	4,24	16,93	169,25	0,33	2,73	4,55	4,27	0,92	38,05	0,84
HM21-2	4,40	23,85	146,87	5,60	489,58	-0,70	16,09	0,66	41,75	-1,12
HM21-2	4,11	19,72	31,47	0,38	1,12	-0,28	3,79	0,92	40,98	0,56
Oxydes	Ag_ppm_m10 7	Cd_ppm_m11 1	In_ppm_m115	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	W_ppm_m182	Au_ppm_m19 7	Pb_ppm_m20 8	Bi_ppm_m209	
STD_utilisé	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	
MT21-1	-0,22	-0,11	-0,03	1,07	0,79	0,11	-0,02	1,37	-4,77	
MT21-2	-0,30	-0,02	-0,05	-0,15	1,54	0,01	-0,01	0,24	-5,17	
MT21-3	-0,29	-0,19	-0,04	0,99	-0,14	0,02	-0,03	0,46	-7,09	
MT21-4	-0,28	0,02	-0,04	-0,30	23,21	1,31	-0,02	2,06	-7,52	
MT21-5	-0,35	-0,31	-0,01	-0,32	56,89	0,25	-0,01	1,86	-4,62	
MT21-6	0,09	-0,21	0,07	6,19	9,24	0,10	-0,02	9,39	-0,20	
MT21-6	-0,21	-0,11	-0,03	1,45	13,74	0,05	-0,03	3,28	-5,24	
MT21-6	0,56	0,02	-0,01	1,97	19,93	0,48	0,02	35,81	7,79	
HM21-1	-0,44	0,12	-0,04	0,21	2,00	0,66	-0,03	0,82	-7,62	
HM21-1	-0,15	0,03	-0,02	0,36	0,86	1,75	-0,02	0,90	-4,29	
HM21-2	-0,24	-0,08	-0,01	1,68	43,50	0,73	-0,05	2,73	-6,11	
HM21-2	-0,15	0,15	-0,02	-0,15	10,00	0,39	-0,02	6,29	-7,08	
HM21-2	-0,26	-0,01	-0,04	4,20	17,62	0,28	0,00	1,08	-6,06	

Arsénopyrite	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	As_ppm_m75	Se_ppm_m82	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	Te_ppm_m125
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1	PS1
ASP1-1	23,04	9,65	-	-	20,87	1,93	0,12	3,35	460,75	34,46
ASP3-1	679,31	7,68	-	-	77,78	1,04	0,16	0,13	519,82	13,98
ASP3-2	462,72	9,25	-	-	71,47	1,85	0,14	0,11	421,37	15,02
ASP4-1	318,98	2,97	-	-	4,41	0,03	0,12	0,06	1,82	0,10
ASP5-1	2106,83	7,70	-	-	47,26	47,26	0,11	0,22	856,52	73,25
ASP5-2	1732,72	41,15	-	-	35,84	13,19	0,06	1,20	693,09	40,17
ASP5-3	1439,34	64,78	-	-	30,78	10,63	0,27	0,48	525,72	33,47
ASP6-2	6753,67	19,69	-	-	28,35	0,98	0,14	15,75	697,03	33,87
ASP7-1	1382,24	9,67	-	-	31,43	2,13	0,21	0,87	998,28	37,21
ASP7-2	4489,32	57,10	-	-	34,44	5,55	0,10	0,24	954,97	22,01
ASP8-1	205,37	3,84	-	-	26,40	0,20	0,06	0,16	460,35	8,92
ASP9-1	511,94	92,54	-	-	66,36	28,75	0,09	0,42	296,73	57,10
ASP9-2	447,55	17,33	-	-	59,27	47,06	0,16	0,56	277,63	77,38
ASP-2-1	57,30	5,91	-	-	44,70	0,96	0,05	0,06	480,44	3,96
ASP-2-2	81,71	2,40	-	-	85,45	0,67	0,06	0,06	303,03	2,89
ASP-6-1	480,44	0,43	-	-	1,08	0,14	0,07	1,18	3,21	0,13
ASP-7-3	1035,69	3,19	-	-	26,27	2,68	0,20	3,74	828,95	33,53
ASP-10-1	25990,80	4,73	-	-	10,30	3,39	1,69	0,39	187,06	19,89

Arsénopyrite	Au_ppm_m197	Hg_ppm_m202	Pb_ppm_m208	Bi_ppm_m209	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Zn_ppm_m66	Ga_ppm_m71
STD_utilisé	PS1	PS1	PS1	PS1	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE
ASP1-1	0,61	1,76	72,85	5,95	0,78	5,93	16,46	456,19	11,32	0,23
ASP3-1	18,11	0,78	18,11	1,94	4,94	6,69	3,60	840,35	12,01	0,60
ASP3-2	8,96	0,71	19,16	2,10	4,56	5,21	4,15	867,79	0,91	0,81
ASP4-1	0,02	0,10	3,76	-0,17	1,34	48,02	28,47	70,32	3,46	0,16
ASP5-1	1,06	0,45	68,92	6,34	8,75	5,97	3,09	13205,50	0,70	0,30
ASP5-2	0,42	0,59	67,93	8,23	36,02	24,35	4,73	10770,20	5,42	1,16
ASP5-3	0,45	0,45	139,80	5,24	18,87	11,32	16,12	10530,10	2,74	0,86
ASP6-2	1,26	0,51	39,58	1,44	2,23	5,59	7,51	42532,00	3,19	0,18
ASP7-1	0,26	2,16	36,62	7,56	47,33	41,16	8,44	13136,90	6,89	2,23
ASP7-2	0,89	1,56	57,89	6,10	8,44	11,90	3,06	30046,80	1,23	0,46
ASP8-1	0,32	0,50	1,98	0,19	2,98	0,93	1,90	246,96	0,18	0,10
ASP9-1	2,64	0,46	689,15	9,16	17,49	3,98	157,78	506,27	2,37	0,52
ASP9-2	3,52	0,46	1094,76	10,87	37,04	4,97	127,94	689,43	2,30	0,83
ASP-2-1	15,44	2,11	10,42	4,59	1,34	0,46	5,28	192,42	0,24	0,14
ASP-2-2	51,00	1,54	6,64	1,27	0,26	0,33	3,24	23,60	0,28	0,08
ASP-6-1	0,00	0,08	45,68	0,00	0,38	0,09	2,23	264,11	0,24	0,06
ASP-7-3	0,30	1,85	34,85	10,42	29,50	28,81	4,36	18419,10	3,26	1,17
ASP-10-1	0,31	0,81	33,47	15,56	24,35	42,53	6,21	205800,00	5,83	3,77

Arsénopyrite	Ge_ppm_m72	Mo_ppm_m95	In_ppm_m115	W_ppm_m182
STD_utilisé	GSE	GSE	GSE	GSE
ASP1-1	20,55	2,44	0,59	1,00
ASP3-1	19,07	3,88	0,52	0,48
ASP3-2	19,41	1,86	0,52	0,23
ASP4-1	19,45	0,06	0,15	0,93
ASP5-1	18,76	14,06	0,53	4,97
ASP5-2	18,62	58,31	0,66	11,32
ASP5-3	18,52	10,98	0,45	4,18
ASP6-2	17,94	0,12	0,64	0,05
ASP7-1	18,59	5,08	0,49	34,64
ASP7-2	18,90	3,33	0,59	5,97
ASP8-1	18,49	0,32	0,54	0,48
ASP9-1	17,66	1,42	0,48	5,97
ASP9-2	17,94	0,71	0,49	11,76
ASP-2-1	19,17	1,81	0,63	0,02
ASP-2-2	19,55	0,64	0,64	0,01
ASP-6-1	19,04	0,15	0,04	0,05
ASP-7-3	20,07	28,13	0,67	26,41
ASP-10-1	18,38	0,28	0,91	3,53